

UMBERTO KLOCK

Qualidade da Madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e
Pinus caribaea Morelet var *hondurensis*
Barr e Golf

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

CURITIBA

1989

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

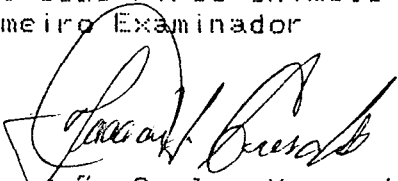
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentado pelo candidato **UMBERTO KLOCK**, sob o título "QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE E *Pinus caribea* MORELET var *hondurensis* BARR E GOLF." para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

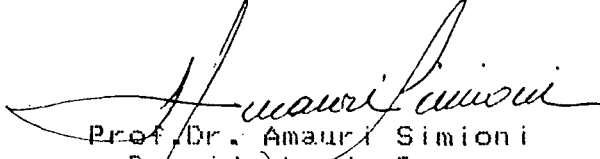
Observação:

O critério de aprovação da Dissertação e Defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas, **APROVADA** ou **NÃO APROVADA**.

Curitiba, 14 de dezembro de 1989


Prof.Dr. João Pires Chimelo
Primeiro Examinador


Prof.M.Sc. João Carlos Moreschi
Segundo Examinador


Prof.Dr. Amauri Simioni
Presidente da Banca



BIOGRAFIA

Umberto Klock, filho de Artur Antônio e Cecília Klock, nasceu em Lages - SC, a 25 de fevereiro de 1957.

Iniciou o 1º grau (primário e ginásio) no Grupo Escolar Luiz Delfino e Colégio Estadual D. Pedro II, ambos na cidade de Blumenau - SC, concluindo seus estudos no Colégio Estadual Tiradentes, em Curitiba - PR.

Os estudos de 2º grau foram realizados no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, recebendo a formação de Técnico em Edificações.

Em março de 1986 formou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná.

Ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, a nível de mestrado, em março de 1986.

Participou de treinamento individual na área de Tecnologia da Madeira - Secagem e Qualidade da Madeira, no período entre Agosto e Novembro de 1987, patrocinado pela Japan International Cooperation Agency, no Forest and Forestry Products Research Institute em Tsukuba - Japão.

Dedico este trabalho:

a meus pais, Artur Antônio e Cecília
principais responsáveis pela minha
formação profissional
e,
ao amigo, Emanuel, pelo incentivo e
colaboração na realização deste tra-
balho.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus sinceros agradecimentos:

- Ao CNPQ, pela concessão de bolsa de estudo.
- À DURAFLORA S.A., pela oportunidade da realização do presente estudo através de sua política de integração empresa-universidade e interesse no desenvolvimento científico e tecnológico, pelo fornecimento de material e recursos financeiros que possibilitaram a execução do trabalho e pela confiança em mim depositada.
- À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização do curso.
- Ao orientador Prof. Dr. Amauri Simioni e, aos co-orientadores Prof. Dr. Ivan Tomaselli e Prof. MSc João Carlos Moreschi, pela orientação na elaboração deste trabalho.
- Ao Centro de Tecnologia Industrial do Instituto de Tecnologia pela permissão de utilização de equipamentos.
- Aos Engenheiros Florestais Norival Nicollielo e Márcio Pinheiro Ferrari, pelo apoio logístico e interesse na realização do trabalho, e pela confiança em mim depositadas.
- À amiga Graciela Boldon Muniz pelo auxílio, orientação na elaboração do trabalho e pelo apoio e incentivo.

- Ao amigo Emanuel Rocha pelo auxílio nos trabalhos de laboratório e datilografia.
- Ao meu sobrinho, Alexandre Uhlman pelo auxílio nos trabalhos de coleta e análise de dados.
- Aos funcionários da DURAFLOA S.A. que colaboram na coleta do material e em assuntos administrativos.
- Aos funcionários da Universidade Federal do Paraná que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.
- Aos amigos que, durante o período do curso e da elaboração deste trabalho, me incentivaram.
- A todos aqueles que diretamente contribuíram para a realização do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xvi
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1 QUALIDADE DA MADEIRA	07
2.2 RESISTÊNCIA DA MADEIRA	12
2.2.1 Propriedades que afetam a resistência da madeira ...	14
2.2.1.1 Massa específica	14
2.2.1.2 Largura dos anéis de crescimento	19
2.2.1.3 Porcentagem de lenho tardio	20
2.2.1.4 Lenho juvenil e lenho adulto	21
2.2.1.5 Orientação da grã	26
2.2.1.6 Ramificações e nós	27
2.2.1.7 Teor de umidade e temperatura	28
2.2.1.8 Práticas silviculturais	33
2.2.1.9 Outros fatores que afetam a resistência	35
2.3 ELASTICIDADE DA MADEIRA	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 ESPÉCIES UTILIZADAS	40
3.2 LOCAL DE COLETA	40

3.3	AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL	41
3.4	ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA	47
3.4.1	Determinação da Massa Específica	47
3.4.2	Determinação da Retratabilidade	49
3.4.3	Determinação da Porcentagem de lenho tardio	51
3.4.4	Determinação das Características Morfológicas dos Traqueóides	52
3.4.5	Determinação das Propriedades Mecânicas da Madeira..	53
3.5	Análise Estatística	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1	MASSA ESPECÍFICA	62
4.1.1	Massa específica básica a diferentes alturas	
	62
4.1.2	Massa específica aparente dos lenhos interno e ex- terno	67
4.1.3	Massa específica e porcentagem de lenho tardio	69
4.2	RETRATABILIDADE	75
4.3	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES	84
4.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS	87
4.4.1	Resistência à flexão estática	87
4.4.2	Resistência à compressão paralela às fibras	102
4.4.3	Correlações entre propriedades físicas e mecânicas ..	113
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
	SUMMARY.....	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134

LISTA DE FIGURAS

1	ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA DE <i>Pinus radiata</i>	09
2	RELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MÓDULO DE RUPTURA PARA UMA SÉRIE DE ESPÉCIES DE MADEIRA	15
3	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE MUDANÇA GRADUAL NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL PARA MADEIRA ADULTA EM CONÍFERAS	23
4	RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÁXIMA COM A MASSA ESPECÍFICA PARA VÁRIAS ESPÉCIES TESTADAS NOS ESPAÇOS VERDE E SECO AO AR	31
5	RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM O TEOR DE UMIDADE	32
6	ESQUEMA DE RETIRADA DO MATERIAL PARA O ESTUDO	44
7	ESQUEMA DE CORTE DOS PRANCHÕES, SEPARANDO-SE PEÇAS DE LENHO INTERNO E EXTERNO	45
8	ESQUEMA DE CORTE DAS PEÇAS DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO EM RELAÇÃO A POSIÇÃO NO TRONCO	55
9	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA RELAÇÃO ENTRE A MASSA ES- PECÍFICA (MASSA SECA/VOLUME VERDE) COM A ALTURA, PA- RA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	65
10	COMPARAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA DE LENHO INTER- NO E LENHO EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (14 E 20 ANOS)	70

11	RELAÇÃO ENTRE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DO <i>Pinus oocarpa</i> DE 18 ANOS E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> DE 20 ANOS, COMBINADOS OS LENHOS INTERNO E EXTERNO	76
12	RELAÇÃO ENTRE A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E A MASSA ESPECÍFICA PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , COMBINADOS OS LENHOS INTERNO E EXTERNO ..	83
13	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES EM ANÉIS DE CRESCIMENTO A ALTURA DO DAP DE <i>Pinus oocarpa</i> DE 18 ANOS	88
14	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES EM ANÉIS DE CRESCIMENTO A ALTURA DO DAP DE <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> DE 20 ANOS	89
15	DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM ENTRE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO PARA MÓDULO DE RUPTURA (MR.) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	95
16	DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM ENTRE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO PARA MÓDULO DE RUPTURA (R) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE COMPRESSÃO PARALELA PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	107
17	RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 E 18 ANOS DO <i>Pinus oocarpa</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE	116
18	RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA COMBINAÇÃO DOS LENHOS	

	INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 E 18 ANOS DO <i>Pinus</i> <i>oocarpa</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE ..	117
19	RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EX- TERNO E IDADES DE 14 E 20 ANOS DO <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDA- DE	120
20	RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COM- PRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E POR- CENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 e 20 ANOS DO <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE	121

LISTA DE TABELAS

1	QUALIDADE DE MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> DE 11 ANOS COMPARADO COM ÁRVORES DE 30 ANOS	22
2	VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE	24
3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁRVORES COLETADAS	44
4	DETALHES DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS	57
5	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DOS DISCOS A 5 ALTURAS AO LONGO DO FUSTE, PARA <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (14 E 20 ANOS)	62
6	RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA A DIFERENTES ALTURAS PARA <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (14 E 20 ANOS), E ENTRE AS DUAS ESPÉCIES E IDADES AO NÍVEL DO DAP	63
7	MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (14 E 20 ANOS), DETERMINADA EM CORPOS DE PROVA DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO	67
8	PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO EM CORPOS DE PROVA DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> (14 E 18 ANOS) E DE <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (14 E 20 ANOS), ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m	72

9	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES AJUSTADAS A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (MASSA SECA/VOLUME) VERDE PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> COMBINANDO LENHO INTERNO E EXTERNO E IDADES DAS ÁRVORES	74
10	CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, CONTRAÇÕES LINEARES, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E COEFICIENTE DE RETRATIBILIDADE DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m .	77
11	RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	78
12	RESUMO DA CORRELAÇÃO ENTRE A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA (PESO SECO/ VOLUME VERDE) POR REGRESSÃO LINEAR SIMPLES, PARA LENHO INTERNO, LENHO EXTERNO, E COMBINAÇÃO DESTES, PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	80
13	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES AJUSTADAS PARA A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA (MASSA SECA/VOLUME) PARA A COMBINAÇÃO LENHO INTERNO E EXTERNO PARA <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> .	81
14	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE <i>Pinus oocarpa</i> DE 18 ANOS A ALTURA DO DAP	84
15	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> DE 20 ANOS, A ALTURA DO DAP	86

16	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> NO ESTADO VERDE	90
17	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> NO ESTADO SECO, A 15% DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO	91
18	DIFERENÇAS PORCENTUAIS ENTRE OS VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE, PARA AS DUAS ESPÉCIES E IDADES	92
19	RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE OS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA, COM A MASSA ESPECÍFICA (ρ), PARA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> DE 14 E 18 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES	98
20	RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE OS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA COM A MASSA ESPECÍFICA (ρ), PARA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> DE 14 E 20 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ..	99
21	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> NO ESTADO VERDE	103
22	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Pinus oocarpa</i> E <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> NO ESTADO SECO, A 15% DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO	104
23	DIFERENÇAS PORCENTUAIS ENTRE OS VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE	

	COMPRESSÃO PARALELA, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15%	
	DE UMIDADE, PARA AS DUAS ESPÉCIES E IDADES	105
24	RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE OS MÓDULOS DE RUPTURA(MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA (r), PA- RA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus oocarpa</i> DE 14 E 18 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ..	110
25	RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE OS MÓDULOS DE RUPTURA(MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA (r), PA- RA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> DE 14 E 20 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LI- NEAR SIMPLES	111
26	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESIS- TÊNCIAS À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E POR- CENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, PARA ÁRVORES DE 14 E 18 ANOS DO <i>Pinus oocarpa</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMI- DADE	114
27	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESIS- TÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPE- CÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, PARA ÁRVORES DE 14 E 18 ANOS DO <i>Pinus oocarpa</i> , NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE	115
28	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESIS- TÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCEN- TAGEM DE LENHO TARDIO, DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS IN- TERNO E EXTERNO PARA ÁRVORES DE 14 E 20 ANOS DO	

	<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , NOS ESTADOS VERDE E SE-	
	CO A 15% DE UMIDADE	118
29	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESIS-	
	TÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPE-	
	CÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA COMBINAÇÃO	
	DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, PARA ÁRVORES DE 14 E	
	20 ANOS DO <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> , NOS ESTADOS	
	VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE	119

RESUMO

No presente trabalho foram determinadas as propriedades físicas (massa específica, nos estados verde e seco, contrações e anisotropia dimensional) e mecânicas (resistência à flexão estática e à compressão paralela às fibras, nos estados verde e seco a 15% de umidade), além de anatômicas (características morfológicas dos traqueóides) da madeira de árvores de 14 e 18 anos de *Pinus oocarpa* Schiède e, de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr e Golf, provenientes de plantios da região de Agudos, estado de São Paulo.

Foram selecionadas, por espécie e por idade dez árvores de diâmetros semelhantes.

A massa específica básica (ρ) foi determinada em cinco alturas no tronco, através de discos. Características morfológicas dos traqueóides foram determinadas em anéis alternados, na altura de 1,30 m (DAP) de árvores de 18 e 20 anos. As propriedades mecânicas, retratibilidade, massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio, foram determinadas em corpos de prova, obtidos em duas regiões: lenho interno (próximo a medula) e lenho externo (próximo à casca), de toras coletadas entre as alturas de 1,30 m (DAP) e 3,50 m.

A massa específica básica, considerando-se o efeito da idade, decresce com a altura, não se encontrando diferença estatística entre os valores médios da massa específica ao nível

do DAP, entre as idades e espécies.

O comprimento médio dos traqueóides entre o 2º e 17º anel do *Pinus oocarpa* aumentou cerca de 120% e, entre o 2º e 19º anel do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, cerca de 95%.

Os resultados obtidos para as propriedades mecânicas, re-tratibilidade, massas específicas básica e aparente e porcentagem de lenho tardio, para os lenhos interno e externo, mostraram sensíveis diferenças. Maiores diferenças foram observadas nas árvores de maiores idades das duas espécies.

Os valores médios obtidos nos lenhos interno e externo foram superiores no lenho externo em cerca de 20 - 30% para as massas específicas; 40 a 130% para as várias propriedades mecânicas determinadas nos estados verde e a 15% de umidade.

As propriedades, elevaram-se entre 40 - 70% em termos de módulo de ruptura e, 5-30% para módulo de elasticidade, para a madeira seca a 15% de umidade, quando comparadas aos valores obtidos no estado verde.

Verificou-se alta correlação das propriedades mecânicas, com massas específicas e porcentagem de lenho tardio, ao combinar-se os lenhos interno e externo e as idades, para as duas espécies, nos estados verde e a 15% de umidade.

1 INTRODUÇÃO

Das espécies do gênero *Pinus* plantadas na região de Agudos (São Paulo), destacam-se pelo rápido crescimento e boa adaptação ao meio, o *Pinus oocarpa* Schiêde e o *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barre e Golf, porém as características da madeira destas espécies são pouco conhecidas.

Até os dias atuais, existem poucas pesquisas sobre a qualidade da madeira de espécies introduzidas no Brasil. Para o gênero *Pinus*, especificamente, as investigações realizadas concentram-se principalmente na sua utilização como matéria-prima para a indústria de celulose e papel.

Contudo, dados recentes indicam que a madeira de *Pinus* sp, representará cerca de 85% do total de madeira serrada, a ser produzida nas regiões sudeste e sul do país, já a partir da década de 90, AZEREDO.¹

Desta forma, estudos que venham a fornecer informações sobre a qualidade da madeira produzida pelas essências exóticas plantadas no país, são indispensáveis para um aproveitamento adequado e, também, para a adequação da indústria de processamento e de utilização desta matéria-prima, de características ainda não bem definidas.

As espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, que apresentam boa adaptação, reconhecida pelo crescimento vigoroso e boa forma, atingem dimensões de comercialização em menor

tempo quando comparado ao crescimento nas regiões de distribuição natural.

Assim, propriedades da madeira jovem de *Pinus* spp proveniente de árvores de rápido crescimento, tem sido comparada em muitos casos com a madeira de *Araucaria angustifolia* proveniente de árvores com idades em geral muito superiores, até de uma centena de anos ou mais e de crescimento em condições naturais, evidenciando-se desta forma uma diferença acentuada entre as propriedades destas madeiras e a alta qualidade da madeira da conífera nativa.

Deve-se contudo, considerar que, devido ao rápido crescimento, as características da madeira diferem daquelas obtidas de árvores crescendo em seu habitat natural, apresentando propriedades diferentes, principalmente relacionadas a alta porcentagem de lenho juvenil na formação da madeira, que sendo padrão de crescimento normal para coníferas, e especificamente para o gênero *Pinus* nos primeiros anos, acentua-se pelas condições favoráveis ao crescimento, em função do espaçamento inicial do plantio, da menor competição entre indivíduos nos primeiros anos de crescimento, da intensidade de desbastes, e fatores ambientais e climáticos.

Como a maioria das pesquisas sobre a qualidade da madeira de árvores de rápido crescimento, geneticamente melhoradas e intensivamente manejadas, tem sido conduzidas pela indústria de celulose e papel, a alta proporção de lenho juvenil que compõe a madeira, tem sido absorvida normalmente devido ao melhoramento da tecnologia da polpação. Porém, com a necessidade da utilização da matéria-prima oriunda de árvores de rápido crescimento em produtos de madeira sólida, devido a escassez da madeira

nativa tradicional, observa-se a cada dia esta tornar-se fonte crescente e importante para este tipo de industrialização.

O lenho juvenil apresenta características que reduzem e causam excessiva e errática contração longitudinal, sendo que ao lado dos efeitos destas características na utilização final, também surgem problemas no desdobro de toras, secagem e outros procedimentos de acabamentos. Assim, para o uso adequado deste material, as técnicas de processamento e os usos tradicionais precisam ser modificados para acomodar as características especiais deste tipo de madeira, BENDTSEN.⁶

Como existem diferenças consideráveis entre as características de lenho juvenil e adulto na madeira de *Pinus* spp. existe a necessidade de se obter informações detalhadas sobre as propriedades da madeira destas espécies exóticas plantadas no país, pois sua utilização vem assumindo gradativamente grande importância no mercado madeireiro.

O estudo das propriedades físicas, mecânicas e anatômicas da madeira, fornece subsídios sobre a qualidade da mesma, que permitem determinar uma utilização adequada dessa matéria-prima.

Desta forma, o objetivo geral deste estudo é de fornecer subsídios e informações básicas sobre a qualidade da madeira de duas espécies do gênero *Pinus*, com idades aproximadas de 14 e 20 anos, visando a utilização adequada da madeira produzida, bem como de se tomar decisões para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Para alcançar o objetivo geral, assim como para implementar o estudo da qualidade da madeira em questão, tem-se como objetivos específicos:

- Determinação de propriedades físicas da madeira, como

massa específica básica, massa específica aparente a 15% de umidade, retratibilidade volumétrica e coeficientes e anisotropia dimensional.

- Determinação de propriedades mecânicas da madeira, como resistência a flexão estática, a compressão paralela às fibras, bem como determinar os respectivos módulos de elasticidade, para a madeira interna e externa, no estado verde e acondicionada a 15% de umidade de equilíbrio.
- Determinação de características morfológicas de elementos celulares, como dimensões dos traqueóides e porcentagem de lenhos tardio e inicial.
- Determinar as possíveis correlações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira nos estados verde e seco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A distribuição natural de crescimento de *Pinus oocarpa* Schiède e de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr e Golf, ocorre na América Central, de Belize ao leste da Guatemala, norte de Honduras, ao nordeste da Nicarágua, e na área do Caribe, nas Bahamas, oeste de Cuba e em outras ilhas.

Plantações tem sido feitas no Brasil e também na Nova Zelândia, África do Sul e Austrália.

As duas espécies, quando consideradas as características de utilização, são semelhantes entre si, assemelhando-se também às características dos *Pinus* originários do sul dos Estados Unidos, especialmente ao *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, BROWN.¹¹

As características gerais das árvores, da madeira e suas propriedades segundo BROWN,¹¹ são: as árvores variam de acordo com a localização, crescendo a alturas de cerca de 30m, apresentando diâmetros que chegam a 1,00 m, sendo o tronco livre de ramificações até cerca de 15-21 m do solo.

A madeira assemelha-se à do *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, com cerne marrom-avermelhado, coloração variando com a quantidade de resina presente, alburno marrom-amarelado pálido, com normalmente 50 a 70 mm de largura. A madeira é áspera na textura, com odor de resina mais ou menos pronunciado, sendo a grã tipicamente reta. Existem zonas de crescimento de tecidos escuros que produzem faixas visíveis em todas as superfícies e,

enquanto uma faixa relativamente larga de lenho tardio parece delimitar o anel de crescimento anual, há em adição, de uma a várias linhas de madeira densa, formando anéis falsos ou secundários, freqüentemente presentes. A média de anéis de crescimento por 25 mm varia de 5, próximo a medula, para cerca de 16, a 18-25 cm da medula. Algumas procedências, como das Bahamas, apresentam um crescimento mais lento, tendo por consequência anéis mais estreitos.

O peso seco médio da madeira é de 720 kg/m³.

A madeira é considerada de alta resistência quando seca, assemelhando-se às dos mais altos graus de classificação de madeira de *Pinus* sp pelas normas americanas. Apresenta-se cerca de 15% mais resistente a cargas dinâmicas e ao fendilhamento e cerca de 45% mais dura, com durabilidade natural moderada.

Quanto a trabalhabilidade da madeira, é considerada de fácil trabalhabilidade com ferramentas manuais e mecânicas, assemelhando-se muito aos *Pinus palustris* e *Pinus elliottii* na resistência ao corte e limpeza no acabamento, e geralmente um pouco mais dura e resinosa que as dessas espécies.

A utilização da madeira de *Pinus oocarpa* e de *Pinus caribaea*, de uma maneira geral é a mesma de *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, sendo em estruturas, estaqueamento marítimo, postes, mastros, pontes, tanques e barris, tabiques temporários na construção de embarcações, em trabalhos de marcenaria e carpintaria, e em assoalhos.

Na Grã-Bretanha, a madeira destas espécies de *Pinus*, importadas do Caribe, eram populares para utilização onde suas grandes dimensões e resistência mais alta que a média das madeiras normalmente utilizadas, eram uma vantagem, notadamente

para estaqueamento marítimo e em coberturas de edifícios públicos. Também eram tradicionais em mobílias de igrejas e escolas.

2.1 QUALIDADE DA MADEIRA

A madeira, que é composta por agregações de células vegetais, é uma das principais matérias-primas industriais, apresenta características tais como anisotropia (propriedades distintas nos diferentes sentidos de crescimento), higroscopicidade (capacidade de perder ou adquirir umidade dependendo das condições ambientais) e variabilidade nas propriedades.

A variabilidade da madeira ocorre de diferenças estruturais desde a ultra-estrutura da parede celular, a geográficas, sendo que a fonte de variação que ocorre dentro da árvore talvez seja a mais significativa, COWN.²¹

A madeira é produzida num ciclo anual por uma camada de tecido regenerativo cambial, que se situa interior à casca e, envolve completamente o tronco, galhos e raízes da árvore. Desta forma, durante cada estação de crescimento, uma nova camada de tecido lenhoso é sobreposta à madeira existente.

A natureza das células da madeira é fortemente dependente da idade real do tecido cambial segundo COWN,²¹ e assim zonas distintas de madeira podem ser distinguidas dentro da árvore, dependendo fortemente da posição da madeira em relação ao centro do tronco e ao topo da árvore.

As diferenças existentes entre as espécies, a variação das características anatômicas, das propriedades físicas e mecânicas dentro de um mesmo indivíduo, são há muito tempo conhecidas e pesquisadas.

SANIO,⁶⁴ em 1872 descreveu originalmente o padrão de

variação do comprimento de traqueóides de *Pinus silvestris* a sucessivos anéis de crescimento, da medula para o exterior do tronco, observando que a qualquer nível do tronco o comprimento dos traqueóides gradualmente aumenta, até tornar-se constante.

Esta variação ocorre, de modo geral, também para outras características, como na proporção de lenho tardio, massa específica e conteúdo de celulose.

A figura 1, extraída de COWN,²¹ ilustra de modo geral, as tendências de variações da massa específica e comprimento de traqueóides para o *Pinus radiata*.

Para se obter um entendimento das propriedades da madeira e seu comportamento, torna-se necessário o estudo da anatomia da madeira, a ultra-estrutura da parede celular e suas variações.

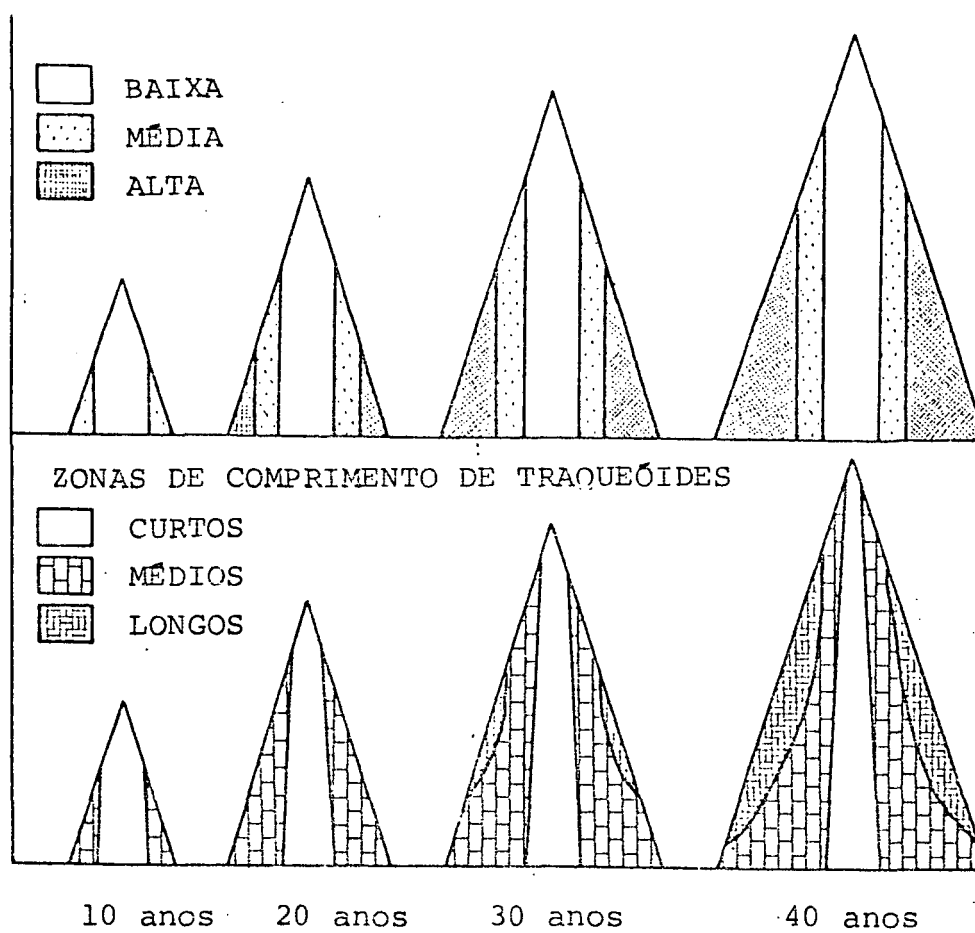
O principal objetivo da investigação anatômica, segundo HUGHES,⁴³ é verificar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso; por exemplo, as dimensões das fibras são indicações importantes do potencial de uma espécie de madeira, para a fabricação de papel com propriedades específicas.

Estudos comprovam a existência de estreita correlação entre volume de fibras, massa específica e resistência mecânica em dicotiledôneas, sendo os elementos fibrilares (fibras libriiformes e fibrotraqueóides) os mais importantes em relação a resistência mecânica.

Vários estudos desta natureza foram realizados, sendo um dos primeiros o de BAKER & SMITH² em 1924, na Austrália, realizados com *Eucalyptus* sp na verificação da possibilidade de seu emprego como matéria-prima para a fabricação de papel. Muitos

FIGURA 1 - ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA
DE *PINUS RADIATA* . (COWN, 1980) .

ZONAS DE MASSA ESPECÍFICA



IDADES DAS ÁRVORES

outros trabalhos se seguiram, como os realizados por DADSWELL²⁵,
²⁶ WARDROP⁷⁸ e BAMBER.³

A variação das propriedades em função da idade, deve ser levada em consideração nos estudos de qualidade da madeira, de acordo com DADSWELL & NICHOLLS.²⁸

BURLEY¹⁴, BENDTSEN & SENFT⁷ quantificaram de acordo com a idade da árvore, a variação do comprimento de traqueóides, da massa específica, da porcentagem de lenho tardio e do ângulo fibrilar. Também BISSET & DADSWELL⁸ e BAMBER,⁴ constataram estas variações para o comprimento de fibras, da massa específica e de diâmetros de vasos, para o eucalípto.

DUFFIELD³⁰ afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira, e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleta, devido a multiplicidade e interação das causas de variação dentro das mesmas. As causas são classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e posicionalmente (posição no tronco). As variações são classificadas em dois grupos - fatores internos (inerentes à árvore) e fatores externos (inerentes ao ambiente e tratamentos silviculturais).

ZOBEL et alii⁸¹ e GOGGANS³⁸ citam a influência genética nas propriedades da madeira, e vários autores, entre eles NICHOLLS,⁵⁸ DADSWELL²⁷, JACKSON & MORSE⁴⁴, observaram a variação de acordo com a posição no tronco, para as coníferas, que a massa específica básica aumenta da medula para a casca, acontecendo o mesmo com o comprimento dos traqueóides.

Muitos trabalhos sobre a relação da variação das características anatômicas com o ambiente e sua influência na qualidade da madeira foram desenvolvidos. CARLQUIST^{17,18} analisou as variações ecológicas em dimensões de células constituintes da

madeira; HARRIS⁴² mostrou que a densidade em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude e COWN²⁰ encontrou uma variação de 30% na densidade em *Pinus radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia.

A influência de tratamentos silviculturais na qualidade da madeira, foi estudada por muitos pesquisadores, tais como: OHTA,⁶² RUDMAN,⁶³ NICHOLLS,⁵⁸ MCKINNEL,⁵⁵ FIELDING,³⁴ COWN,²⁰ entre outros. Entre os fatores estudados, estão a poda, desbaste, fertilização, irrigação e espaçamento. De maneira geral, há consenso de que tratamento silvicultural intensivo pode afetar a qualidade da madeira.

Atualmente, em vários países, inclusive no Brasil, devido a necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, há intensificação no estudo da qualidade das madeiras, dando ênfase a pesquisas sobre massa específica, orientação da grã e comprimento de fibras, SUDO.⁷⁰

Os primeiros estudos, comparando tecnologicamente espécies florestais de rápido crescimento em condições brasileiras, foram conduzidos para relacionar a qualidade da madeira com a produção de celulose e propriedades do papel, MORESCHI.⁵⁷ Poucos trabalhos foram realizados com maior amplitude, TOMASELLI⁷³ por exemplo, correlacionando *Araucária angustifolia* com *Pinus eliotti* e *Pinus taeda* de reflorestamentos de 18 anos, concluiu que a densidade básica para as três espécies era a mesma, e que para os *Pinus* foram encontradas grandes diferenças na resistência à flexão entre madeira juvenil e madeira adulta, o que não ocorreu com a *Araucária*. Já para a madeira adulta das três espécies, nenhuma diferença foi encontrada, tendo sido considerados os valores obtidos para as espécies de *Pinus*, até certo ponto,

surpreendentes.

2.2 RESISTÊNCIA DA MADEIRA

A resistência máxima de um material é definida como o esforço máximo que ocorre antes ou no momento de ruptura. Alguns tipos de materiais possuem consideráveis reservas de resistência entre o limite elástico e a ruptura. Esta faixa de resistência, chamada inelástica, no entanto não é considerada na aplicação da teoria da resistência para vigas de madeira, por ser esta muito variável em relação a outros materiais de construção, como em estruturas de aço.

Testes realizados com corpos de prova de madeira da mesma espécie, mesmas dimensões, e nas mesmas condições, podem apresentar uma variação considerável em valores de resistência. PARKER,⁶⁰ ressalta que a variabilidade dos resultados obtidos em ensaios deve ser levada em consideração, quando são estabelecidos os esforços admissíveis para fins estruturais de diferentes espécies e classes de madeira.

SIMIONI,⁶⁶ observou a necessidade de se levar em conta a variação existente entre o lenho juvenil e adulto de *Pinus radiata* no cálculo de tensões admissíveis para a classificação da madeira em classes de qualidade.

Embora a experiência e a disponibilidade da madeira, frequentemente ditassem quais as espécies de madeira que deveriam ser utilizadas para uma finalidade particular, hoje um conhecimento muito mais detalhado é requerido para uma utilização eficiente, bem como para a utilização de madeiras desconhecidas e, ainda, para a indicação de espécies para projetos de reflorestamento.

O valor e a regularidade das propriedades da madeira são parâmetros para o julgamento da qualidade, e assim uma estimativa do seu poder de concorrência no mercado, NOACK.⁵⁹

Para cada uso da madeira são requeridas certas propriedades, o que a torna uma matéria-prima de tão larga utilização. Por exemplo: a indústria de celulose e papel requer massa e as características de comprimento e espessura das paredes das células são importantes; já para a indústria de madeira sólida, a estabilidade dimensional, trabalhabilidade, aparência e coloração são requisitos imprescindíveis para determinadas aplicações e, no uso para fins estruturais de acordo com a finalidade da utilização, a resistência aos vários tipos de esforços solicitantes são necessários.

A resistência da madeira é determinada por vários tipos de testes, dependendo do esforço solicitante, e que determinam a possível utilização.

Dois ensaios importantes são os: de flexão e compressão. A resistência obtida de ensaios de flexão estática, com viga apoiada livremente em ambas as extremidades, e com aplicação de carga no centro do vão, pode ser expressa numericamente através do módulo de ruptura (MR), DESCH,²⁹ WANGAARD.⁷⁷ Através da fórmula:

$$MR = 3/2 (P \cdot L) / (b \cdot h^2)$$

onde:

MR = Módulo de ruptura (Kgf/cm²)

P = Carga máxima (Kgf)

L = Distância entre apoios (cm)

b = Largura da viga (cm)

h = Altura da viga (cm)

Segundo BENDTSEN,⁶ o entendimento das características da madeira é essencial para seu efetivo uso. Desta forma, para se classificar a madeira em categorias de resistências, é necessário se conhecer os fatores que influem na madeira e como eles afetam as características de resistência.

2.2.1 Propriedades que afetam a resistência da madeira

2.2.1.1 Massa Específica

De todas as propriedades da madeira, a massa específica é a mais significativa na determinação do uso final, possui uma considerável influência na resistência e em muitas outras propriedades, como a trabalhabilidade, a acústica, as do papel, etc. BAMBER & BURLEY.⁴

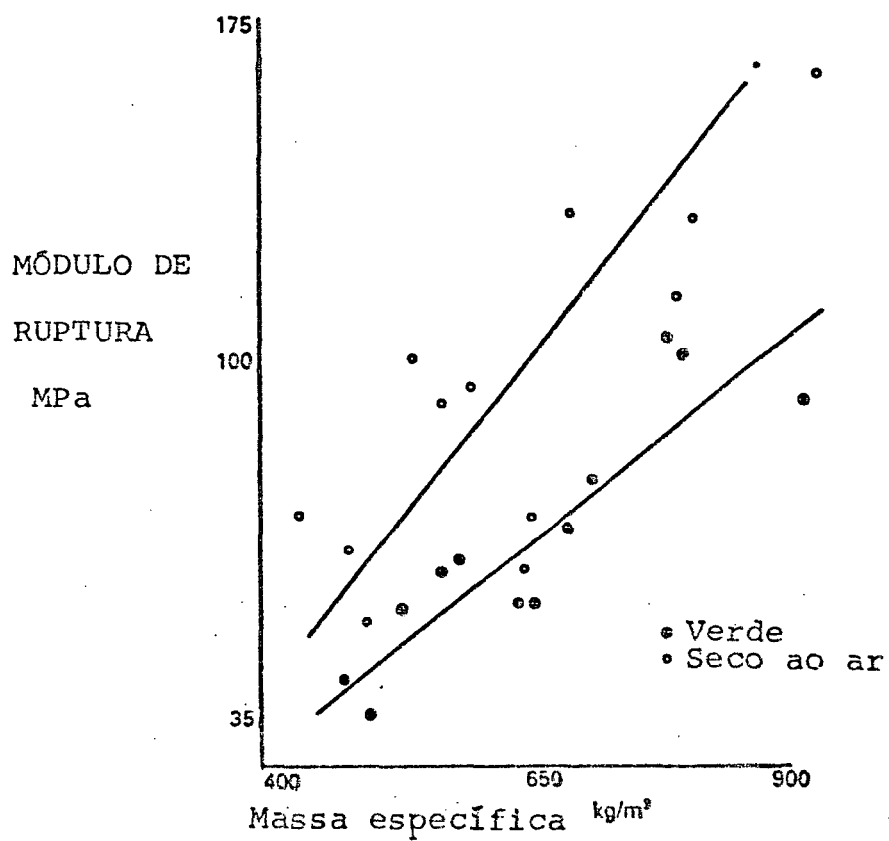
A relação geral entre a massa específica e a resistência é bem estabelecida para a madeira. Como exemplo, a figura 2, tomada de BOLZA & KLOOT (1963), e apresentada por BAMBER & BURLEY⁴ mostra a relação do Módulo de Ruptura de várias espécies com as respectivas massas específicas.

TURNBULL⁷⁵ estimou o Módulo de Ruptura a partir da densidade da madeira de *Pinus radiata*; comparando a estimativa com os valores reais, encontrou somente cerca de 2% em média de desvio. Devido a boa relação entre resistência/peso que a madeira apresenta, permite-se tirar conclusões a respeito da adaptabilidade da madeira como material de construção. Por isso, é observada para fins estruturais.

A massa específica de um corpo é definida como a relação de sua massa e volume. O cálculo é realizado através da fórmula:

$$r = m / v$$

FIGURA 2 - RELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MÓDULO DE RUPTURA PARA UMA SÉRIE DE ESPÉCIES DE MADEIRA.
(BOLZA & KLOOT, 1963)



onde:

r = massa específica

m = massa do material

v = volume ocupado pela massa

A unidade usual da massa específica é g/cm^3 .

Para BROWN et alii,¹² a definição "massa por unidade de volume" é mais exata e independe da posição no espaço, enquanto que a razão "peso/volume" depende da gravidade.

A massa específica é preliminarmente determinada pela quantidade de material lenhoso das paredes celulares em relação aos espaços vazios. A massa específica do material constituinte da parede celular da madeira é aproximadamente constante, em torno de $1,53 \text{ g/cm}^3$; as diferenças na massa específica são devidas simplesmente as diferenças anatômicas da madeira, modificadas pelo efeito de depósitos extracelulares tais como, resinas, polifenóis, gomas, etc que, para uma determinação acurada, deveriam ser extraídos.

A determinação da massa específica é influenciada pelo conteúdo de umidade existente na madeira, podendo ser determinada de diversas formas e identificada por diferentes denominações.

A massa específica é usualmente expressa em uma das seguintes maneiras: verde, no mesmo conteúdo de umidade da árvore viva; seca em estufa; seca ao ar, a um equilíbrio com as condições ambientais, ou a alguma condição especificada.

Massa específica aparente é definida pela fórmula:

$$r_u = P / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

onde:

r_u = massa específica aparente (g/cm^3)

P = massa da amostra (g)

V = volume da amostra considerando os espaços vazios
(cm^3)

Normalmente, quando se trabalha com massa específica aparente, relaciona-se a teores de umidade de 12 ou 15%, pois pode ser determinada para diversos conteúdos de umidade, já que corresponde à massa da madeira pelo seu volume, no mesmo teor de umidade.

Outra forma de expressar, é massa específica básica, quando se relaciona o peso da madeira seca em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ e seu volume em estado verde (teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras).

$$r = P_O / V_u \quad (\text{g}/\text{cm}^3)$$

Onde:

r = massa específica básica (g/ cm^3)

P_O = da amostra seca em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ (g)

V_u = volume da amostra em estado saturado (cm^3)

Estudos de vários pesquisadores, como TRENDELENBURG & MAYER-WEDELIN,⁷⁴ BENDTSEN,⁶ BROWN et alii,¹² DESCH,²⁹ KREMPL,⁵⁰ KNIGGE & SCHULS,⁴⁶ KOLLMANN & COTÊ JR,⁴⁹ entre outros, concordam que a grande variabilidade da matéria-prima madeira, pode ser expressa pelas variações da massa específica.

A massa específica aparente é caracterizada por apresentar grande variação entre as espécies, dentro da mesma espécie ou mesmo dentro de uma única árvore.

Os fatores que têm sido associados com a variação na massa específica incluem, a idade (medida pelo número de anéis a partir da medula), altura da árvore, tratamentos silviculturais

como poda e desbaste, fertilização, fatores ambientais tais como sítio, altitude, taxa de crescimento e, principalmente, fatores genéticos, bem como por aspectos morfológicos como a porcentagem de lenho tardio e a largura dos anéis de crescimento.

Para TRENDELENBURG & MAYER - WEGELIN,⁷⁴ a massa específica de uma espécie varia, em geral, cerca de 30% em relação a sua média.

O efeito da idade sobre a massa específica em *Pinus radiata*, por exemplo, foi estudado em detalhes por TURNBULL.⁷⁵

A variação da massa específica na árvore, segundo vários pesquisadores, entre os quais ELLIOTT,³² ZOBEL et alii,⁸¹ KOLLMANN & COTÉ JR,⁴⁹ BARTZ,⁵ geralmente decresce com a altura na árvore, sendo porém o efeito verdadeiro somente quando os procedimentos de amostragem levam em conta o efeito da idade. Para o *Pinus* sp, especificamente, segundo KOLLMANN,⁴⁸ as variações da massa específica podem ser tão acentuadas no sentido longitudinal da árvore, de tal forma a sugerir classes de qualidade diferentes, apenas em função da posição de origem da amostra na árvore.

A massa específica da madeira expressa uma média real da quantidade de material lenhoso contido num determinado volume, e as propriedades de resistência da madeira dependem da quantidade de material lenhoso presente. Assim, a relação entre a massa específica e as diversas propriedades de resistência em madeira verde e seca, demonstram um aumento de tais propriedades com o incremento da massa específica, sendo a relação mais acentuada para o caso de madeira seca do que para a verde. A massa específica é também um bom indicativo das propriedades mecânicas da madeira, porém, somente para aquelas de grã direita e

livre de defeitos, ou seja, sem a influência de outros fatores que influem negativamente sobre a mencionada relação, como afirmado por CURRY & COVINGTON,²³ GURFINKEL,¹⁰ LAVERS,⁵² KOLLMANN & COTÉ JR⁴⁹ e SUNLEY.⁷¹

2.2.1.2 Largura dos Anéis de Crescimento

A configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a cernificação e o aspecto superficial que depende de ambos, são algumas das características da madeira que, devido a sua fácil visualização, são empregadas como indicadores de suas propriedades, KNIGGE & SCHULZ.⁴⁶

Embora se acredite que a largura dos anéis de crescimento possa ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, como a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma após trabalhada, massa específica e propriedades mecânicas, SPURR & HSIUNG⁶⁷ afirmam que correlações entre a largura de anéis de crescimento com massa específica e com propriedades mecânicas possuem baixo grau de associação, ou mesmo não existem.

Segundo KNIGGE & SCHULZ⁴⁶ existem grandes variações na largura dos anéis de crescimento dentro de uma árvore, tanto em secção transversal como em função da altura. Estes pesquisadores, e em conformidade com KREMPL,⁵⁰ observaram um máximo de variação na largura do anel de crescimento no ápice e outro máximo na base de árvores crescendo em maciços florestais, localizando-se a zona de largura mais regular na posição de 1/3 da altura da árvore.

2.2.1.3 Porcentagem de Lenho Tardio

A proporção entre lenho tardio e lenho inicial, é uma variável freqüentemente observada em muitos estudos sobre a qualidade da madeira, sendo por muitos pesquisadores atribuída afinidade significativa à massa específica, propriedades mecânicas e outros fatores, como espécies estudadas, variedades, sítio, idade, etc, embora em alguns casos não haja concordância.

Para BROWN et alii,¹² o efeito do lenho tardio na massa específica se dá devido ao fato deste lenho conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume, que o lenho inicial.

KNIGGE & SCHULZ⁴⁶ afirmam que a proporção de lenho tardio, é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, especialmente tratando-se de espécies que possuem acentuada diferença de massa específica e estrutura morfológica entre as zonas deste lenho com a do lenho inicial. Existe uma forte correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, como visto anteriormente e, é de esperar-se que quanto maior for a porcentagem deste, maior será a resistência da madeira, o que normalmente é de fácil verificação em coníferas.

Em estudos com espécies do gênero *Pinus*, realizados por VORREITER,⁷⁶ são apresentados valores consideravelmente diferentes para os lenhos inicial e tardio. Como um exemplo, o lenho inicial apresentou massa específica em torno de 0,3 g/cm³, com uma resistência à flexão de 550 kgf/cm², e o lenho tardio atingiu cerca de 0,9 g/cm³ e resistência 4,5 vezes maior, em torno de 2.500 kgf/cm².

Também TRENDELENBURG & MAYER - WEGELIM,⁷⁴ obtiveram resultados semelhantes com *Pinus* sp, encontrando proporções de 1:4,6 para flexão estática e 1:4,0 para o módulo de elasticidade, concluindo que a madeira é altamente dependente da porcentagem de lenho tardio.

BAMBER & BURLEY,⁴ afirmam que em consequência das diferenças anatômicas, em particular a espessura da parede celular e diâmetro do lume, as propriedades entre o lenho inicial e tardio são muito diferentes, sendo a mais óbvia a dureza, seguida por outras como permeabilidade.

Os fatores que tem sido relacionados às variações nas proporções dos lenhos inicial e tardio, por vários pesquisadores são: idade, altura na árvore, fatores ambientais, tais como umidade do solo, taxa de crescimento e fertilização.

2.2.1.4 Lenho Juvenil e Lenho Adulto

O lenho juvenil comparado ao lenho adulto em coníferas, é caracterizado por menor massa específica, traqueóides mais curtos, ângulos fibrilares maiores, menor contração transversal e maior contração longitudinal, resistências menores, porcentagem de lenho tardio menor, paredes celulares mais finas, maiores diâmetros dos lumes e com menor teor de celulose, mas com maior teor de lignina, BENDTSEN.⁶

Exemplos destas características são apresentadas na tabela 01, adaptadas de ZOBEL & KELLINSON (1962) e apresentada por BENDTSEN.⁶

As propriedades da madeira não são uniformes da medula para o exterior; a madeira nos primeiros anéis formados apresenta a menor massa específica, fibras mais curtas, etc. Em

anéis sucessivos do centro da árvore, ocorre o aumento da massa específica, as paredes celulares tornam-se mais espessas e assim por diante. A taxa de mudança na maioria das propriedades, é muito rápida nos primeiros anéis; os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta, como mostrado esquematicamente na figura 03, extraída de BENDTSEN.⁶

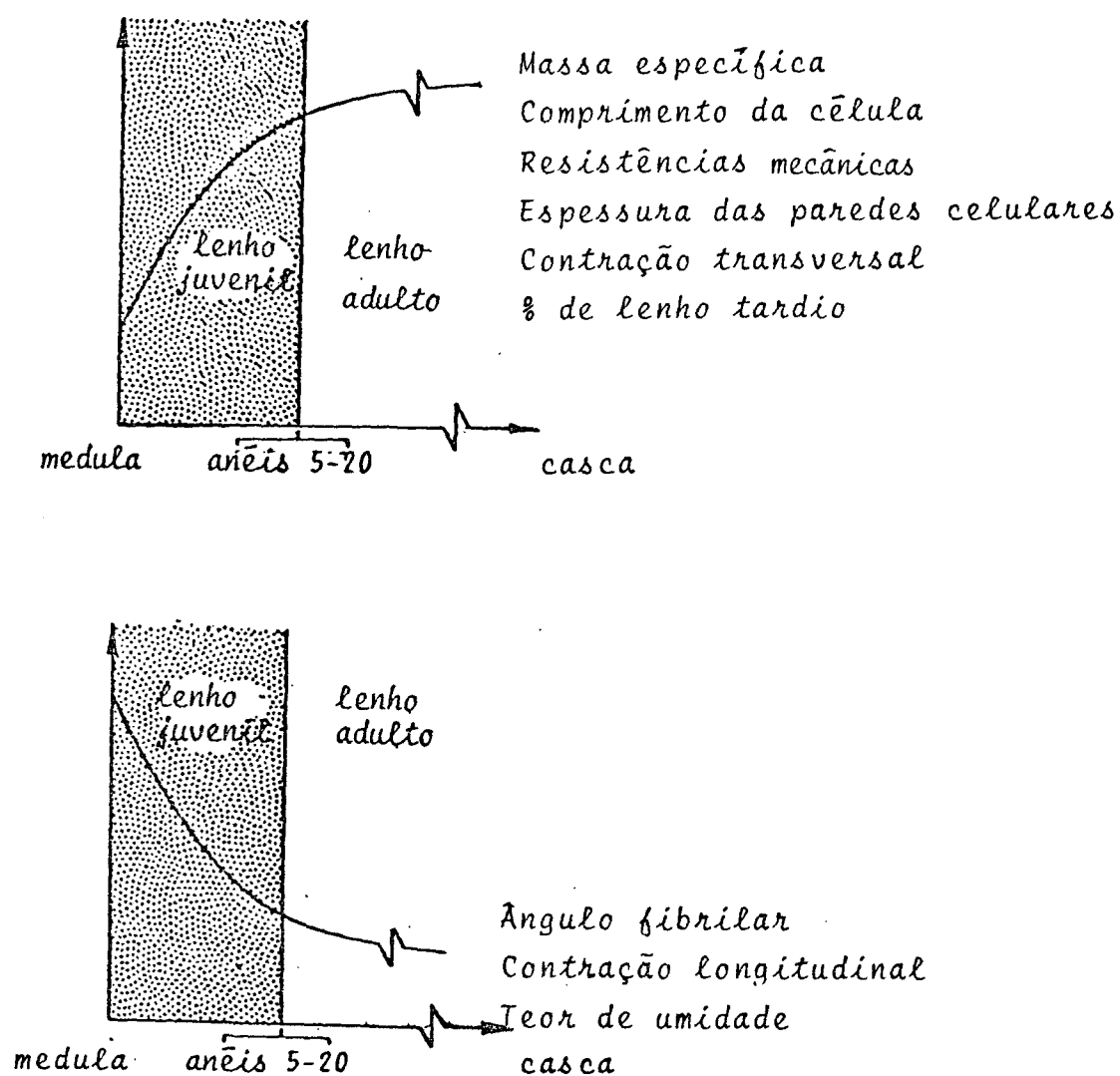
TABELA 01 - QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* DE 11 ANOS
COMPARADO COM ÁRVORES DE 30 ANOS (ZOBEL &
KELLINSON, 1962)

PROPRIEDADE	11 ANOS (JUVENIL)	30 ANOS (ADULTO)
Massa específica	0,42	0,48
Comprimento dos traqueóides (mm)	2,98	4,28
Espessura da parede (μm)	3,88	8,04
Diâmetro do Lume: (μm)	42,25	32,78

A demarcação entre o lenho juvenil e adulto não é clara, devido à mudança gradual nas propriedades. De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente; por exemplo, o comprimento dos traqueóides pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular. Muitos pesquisadores, como ERICKSON & HARRISON,³³ GOGGANS,³⁸ HALLOCK⁴¹ e outros, geralmente concordam entretanto, que o lenho juvenil limita-se em alguma parte do 5º ao 20º anel, dependendo principalmente da espécie e, com alguma extensão, da localidade, segundo GOGGANS.³⁸

A proporção do lenho juvenil numa tora, é dependente da

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA MUDANÇA GRADUAL NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL PARA MADEIRA ADULTA EM CONÍFERAS. (BENDTSEN, 1978)



idade de corte, conforme mostrado por KELLINSON,⁴⁵ comparando as porcentagens de lenho juvenil em *Pinus taeda* obtendo os resultados apresentados na tabela 02.

TABELA 02 - VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE (KELLINSON, 1981)

IDADE (ANOS)	Porcentagem de lenho juvenil	
	% de Peso Seco	% de Volume
15	75	85
25	50	55
45	15	19

BENDTSEN & SENFT,⁷ calcularam a proporção de lenho juvenil em *Pinus taeda* e *Populus deltoide* de 20 a 100 anos; chegaram à conclusão que o último ano de lenho juvenil é o 12º no Pinheiro e 17º no Álamo. A proporção do lenho juvenil era cerca de 60% aos 40 anos, decrescendo para 24% para o Pinheiro. Dos 40 aos 100 anos, a proporção do lenho decresceu 5%.

PEARSON & GILMORE,⁶¹ relatam diferenças de 42 a 82% entre as médias de várias propriedades, obtidas entre corpos de prova de lenho interno, próximos a medula, e de lenho externo afastado da medula, de *Pinus taeda* em 3 idades distintas.

Para BENDTSEN,⁶ as diferenças em propriedades anatômicas e físicas entre os lenhos juvenil e adulto, são importantes na utilização da madeira sólida. BOONE & CHUDNOFF,¹⁰ constataram que a madeira juvenil de rápido crescimento de *Pinus caribaea*, oriunda de plantações, apresentou cerca de 50% da densidade de valores publicados para árvores da espécie, pro-

venientes de florestas naturais. Este talvez seja um caso extremo, mas que não é incomum em pinheiros tropicais.

Segundo BENDTSEN,⁶ a massa específica do lenho juvenil, é bastante baixa em relação à do lenho adulto. Para o caso do *Pinus caribea* de Porto Rico, foram encontrados valores em torno de 0,36 g/cm³ e 0,68 g/cm³ para lenho juvenil e adulto, respectivamente. O ângulo fibrilar observado próximo à medula, de 55 a 20° e, a partir do 30° anel de crescimento, de 37 a 7°.

CHOONG et alii¹⁹ encontraram contração tangencial e radial menor em corpos de prova de lenho próximo da medula, comparada às de corpos de prova retirados de lenho intermediário e mais afastado da medula, para *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*.

OLSON et alii, citados por BENDTSEN,⁶ estudaram sete espécies do gênero *Pinus*, para avaliar a massa específica e a resistência da madeira, com e sem a inclusão da medula. Eles verificaram que as contendo medula apresentaram resultados inferiores, tanto em massa específica como em resistência.

Segundo BENDTSEN,⁶ as propriedades da madeira de árvores de rápido crescimento são diferentes da madeira proveniente de árvores de crescimento natural. BENDTSEN, atribui os problemas associados ao processamento e utilização da madeira de florestas artificiais às diferenças existentes entre o lenho juvenil e adulto na árvore, antes das diferenças inerentes entre a madeira proveniente de árvores de rápido crescimento e de florestas naturais.

Desta forma, para uma utilização destes recursos, as técnicas de processamento e uso tradicionais necessitam ser modificadas, para acomodar as características especiais do lenho juvenil.

PEARSON & GILMORE⁶¹ consideram que as árvores de rápido crescimento utilizadas em seu estudo, deveriam ser enquadradas como uma subespécie distinta, com suas próprias características e propriedades, devido a produção de grande porcentagem de madeira com propriedades mecânicas menores que a madeira de *Pinus taeda* usada comercialmente nos Estados Unidos. Concluem que, pela comparação entre as mudanças das propriedades do lenho central para o lenho externo, havia indicações de que o lenho adulto das árvores de rápido crescimento teria provavelmente, propriedades similares às do lenho de árvores de crescimento natural, ao atingirem idades maiores.

2.2.1.5 Orientação da Grã

Sendo a madeira um material anisotrópico, suas propriedades variam de acordo com a direção anatômica, na qual são consideradas. As propriedades que mostram pronunciada variação anisotrópica são: resistência, contração e permeabilidade, BAMBER & BURLEY.⁴

A orientação da grã, excluindo-se os nós, junto com a massa específica, colabora na maior parte da variação da resistência da madeira. DINWOODIE, citado por BAMBER,³ por exemplo, trabalhando com *Pseudotsuga menziesii*, reportou que a tração longitudinal foi 40 vezes maior que a transversal, e para a compressão, 7 vezes maior entre estas direções, respectivamente.

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas, e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. No gênero *Pinus* isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém em algumas espécies como *Pinus taeda*, ela tem pouca importância, BAMBER &

BURLEY.⁴

A inclinação da grã excessivamente alta, isto é, o desvio das células em relação ao eixo longitudinal, é indesejada por ocasionar uma diminuição acentuada na resistência da madeira devido a tendência a distorções com a mudança do teor de umidade, comparada à madeira com grã reta, KOLLMANN & COTÉ JR,⁴⁹ CURRY & COVINGTON²³ e GURFINKEL.⁴⁰

De uma maneira prática, a fragilidade da madeira ocasionada pela inclinação da grã, é a causa da quebra de peças usadas na confecção de escadas, pernas de cadeira, etc.

O efeito da inclinação da grã, normalmente é considerado maior em peças de madeira estrutural do que em corpos de prova de pequenas dimensões.

2.2.1.6 Ramificações e Nós

Muitas espécies do gênero *Pinus* tem a propensão a produzirem grandes e abundantes galhos, ocasionando uma madeira com muitos nós.

Há poucos estudos sobre as propriedades de galhos para *Pinus* spp, porém BAMBER³ considera que, embora as propriedades sejam distintas, o principal efeito dos nós é a orientação da grã.

O efeito dos nós na resistência de peças estruturais é dependente do tamanho do nó em relação à secção transversal da peça. Desta forma, é mais desejável se ter nós pequenos frequentes que nós grandes menos frequentes, particularmente se os nós ocorrem em verticilos. Por esta razão, árvores multinodais são preferidas às uninodais, BAMBER & BURLEY.⁴

THUNNEL,⁷² afirma que nas madeiras com nós ocorrem des-

vios na grã, variação na massa específica, irregularidades nos anéis de crescimento e descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando na diminuição da resistência.

Os nós tendem a ser mais resinosos do que a madeira que os envolve e, também influenciam as características superficiais da madeira, tendo por exemplo a característica de apresentar freqüentes rachaduras.

BROWN,¹² por exemplo, considerou os nós o mais sério defeito da madeira de *Pinus radiata*.

A posição dos nós nas peças de madeira, quando são solicitadas por esforços, exercem mais ou menos influência na resistência. LAVERS,⁵² KOLLMANN & COTÉ JR,⁴⁹ SUNLEY,⁷¹ citam que em peças estruturais sujeitas à flexão estática, os esforços são maiores na porção média do comprimento e nas partes extremas de altura; por esta razão, o efeito do nó sobre a resistência é maior quando está localizado nas partes mencionadas.

2.2.1.7 Teor de Umidade e Temperatura

A madeira no estado verde contém considerável quantidade de água, esta encontra-se livre nas cavidades celulares (lumes) e intercelulares, bem como impregnando os espaços submicroscópicos das paredes celulares, chamada de água de impregnação e, ainda, a aderida a interfaces entre moléculas de celulose e de hemicelulose, chamada água de adsorção química.

Quando a madeira é submetida à secagem, maior parte da água livre é evaporada antes das paredes celulares perderem umidade. A condição existente quando toda a água livre é evaporada e as paredes ainda se encontram saturadas, é conhecida como ponto de saturação das fibras. Continuando-se a secagem, as

paredes celulares começam a perder umidade e ocorre a contração da madeira, devido a aproximação das microfibrilas, resultando no aumento das propriedades de resistência.

Segundo pesquisadores como GURFINKEL,⁴⁰ LAVERS,⁵² SUNLEY⁷¹ e KOLLMANN & COTÊ JR,⁴⁹ acima do ponto de saturação das fibras, as mudanças no teor de umidade não apresentam efeitos aparentes sobre a resistência da madeira.

A umidade e a temperatura têm influência sobre os resultados dos testes de resistência da madeira, de tal forma que estas e outras características levaram a uma normalização dos métodos e procedimentos de ensaio. A maioria das normas prevêem que os testes sejam realizados em condições padronizadas de temperatura e umidade relativa (20°C e 65% de UR), e que os corpos de prova estejam aclimatizados nestas condições, o que significa um teor de umidade de equilíbrio da madeira em torno de 12%.

KOLLMANN,⁴⁸ LANGENDORF & EICHLER,⁵¹ afirmam, que quanto maior a temperatura e a umidade, até o ponto de saturação das fibras, tanto menor é a resistência da madeira aos diversos tipos de esforços solicitantes.

STAMM⁶⁸ também afirma, que quase todas as propriedades mecânicas da madeira têm seus valores aumentados com o decréscimo do teor de umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras, sendo que, o efeito é ocasionado pela contração da madeira, pois removendo-se a umidade, as unidades estruturais se aproximam aumentando significativamente a quantidade de ligações por pontes de hidrogênio.

Para WILSON,⁷⁹ o aumento da resistência da madeira com o decréscimo do teor de umidade, pode ser considerado como resultado tanto do fortalecimento e rigidez dos elementos estru-

turais, como pela sua compactação devido a contração que acompanha a perda de água.

Já GERHARDS,³⁷ na sua revisão de literatura, sumarizou que o teor de umidade exerce efeitos diferentes nas propriedades. Procurando relações ajustáveis às condições ambientais de umidade relativa, o autor conseguiu concluir que o efeito da umidade é menor sobre o módulo de elasticidade e resistência à tração, que sobre a resistência à compressão, enquanto que o módulo de ruptura, a resistência ao cisalhamento paralelo e elasticidade perpendicular mostraram comportamentos semelhantes entre si. O mesmo ocorreu entre a resistência à compressão perpendicular no limite proporcional e a resistência à flexão estática.

LIMA,⁵³ constatou para o *Eucalyptus saligna*, que a umidade exerceu efeito exponencial nas propriedades de resistência a compressão e cisalhamento paralelo, e que o módulo de elasticidade, foi sempre aumentando com a diminuição do teor de umidade, na faixa de 11 a 22%, mas não exercendo efeito significativo na resistência a tração normal.

LAVERS⁵² relata que, embora a mudança na resistência com a alteração no teor de umidade siga uma tendência similar para a maioria das propriedades de resistência, a magnitude varia de uma para outra. Por exemplo, a resistência à compressão usualmente altera-se mais que à de flexão, que por sua vez muda mais que o módulo de elasticidade de flexão.

A figura 4, extraída de LAVERS,⁵² ilustra a relação da resistência máxima de compressão com a massa específica, para uma série de espécies testadas nos estados verde e seco ao ar.

A figura 5, também extraída de LAVERS,⁵² ilustra a rela-

FIGURA 4 - RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA MÁXIMA À COMPRESSÃO PARALELA
ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA PARA VÁRIAS ESPÉCIE-
S TESTADAS NOS ESTADOS VERDE E SECO AO AR. (LAVERS,
1974)

RESISTÊNCIA MÁXIMA A
COMPRESSÃO (N/mm^2)

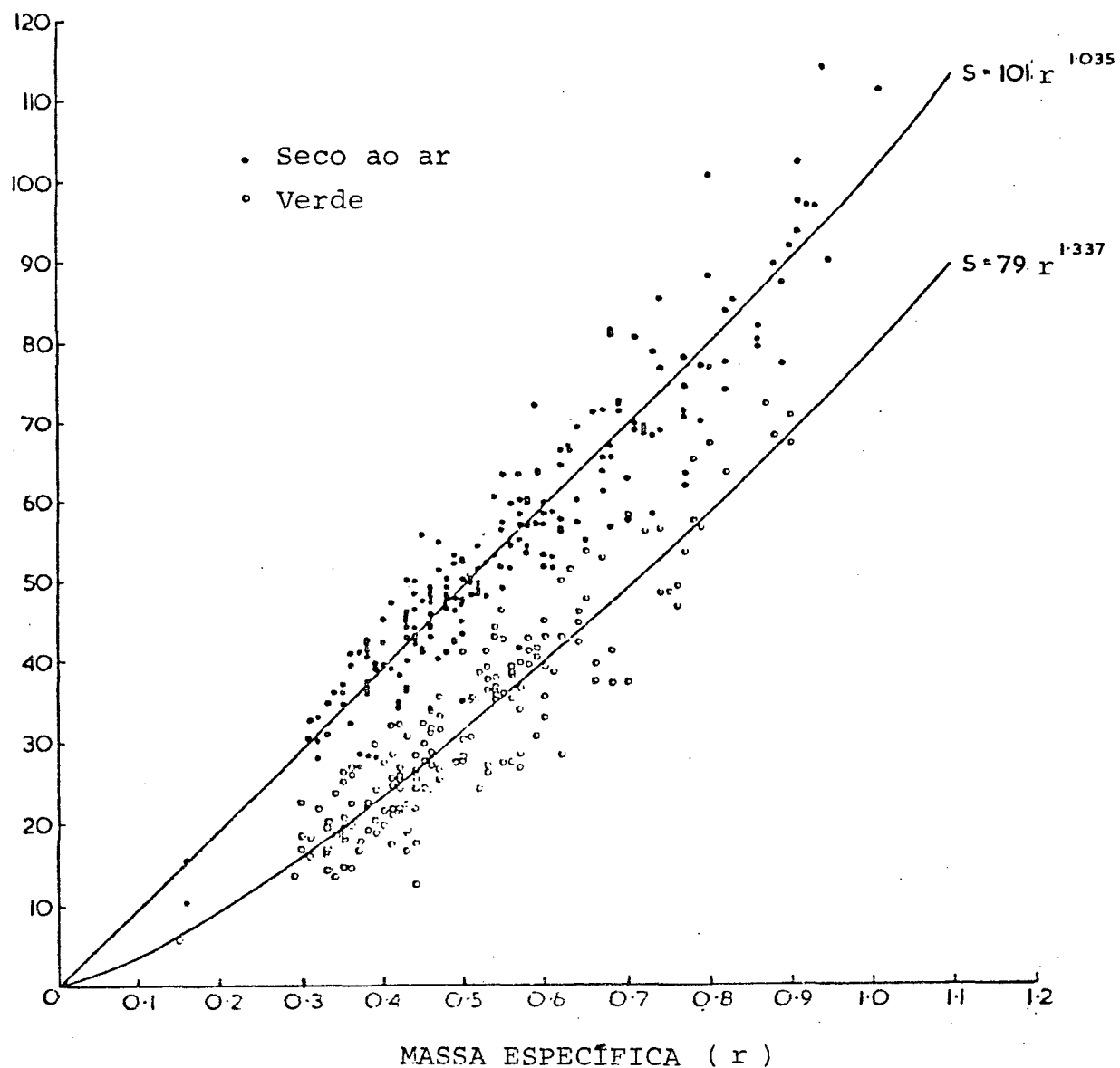
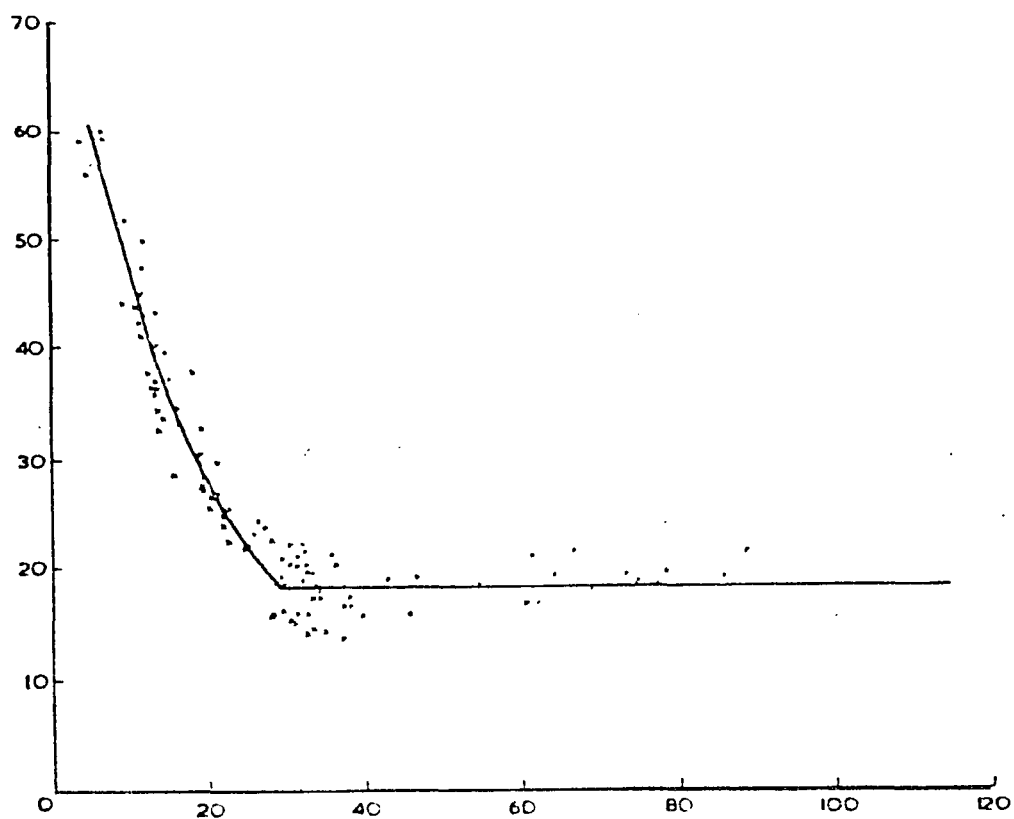


FIGURA 5 - RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM O
TEOR DE UMIDADE. (LAVERS, 1974)

RESISTÊNCIA MÁXIMA À
COMPRESSÃO (N/mm^2)



TEOR DE UMIDADE (%)

ção da resistência à compressão com o teor de umidade.

Com relação a temperatura, de uma maneira geral a maioria das propriedades são afetadas pelas mudanças da temperatura, havendo redução da resistência com elevação da temperatura, e aumento da resistência com diminuição da temperatura, estando a magnitude das alterações positivamente relacionada com o conteúdo de umidade na madeira, KOCH,⁴⁷ KOLLMANN⁴⁸ e LAVERS.⁵²

2.2.1.8 Práticas Silviculturais

Nos anos recentes, tem havido considerável interesse na relação das práticas silviculturais e qualidade da madeira. Isto tem ocorrido devido as rápidas mudanças na natureza dos suprimentos de madeira, pela diminuição da disponibilidade de madeiras tradicionais de alta qualidade e pelo reconhecimento que a madeira proveniente de florestas plantadas e intensamente manejadas, difere da madeira de crescimento natural, BAMBER & BURLEY.⁴

Muitos pesquisadores tem revisado a literatura, visando estabelecer a relação entre as práticas silviculturais e a qualidade da madeira, FIELDING.³⁵

SCHULTZ,⁶⁵ afirma que é conhecido que tratamentos culturais mudam as propriedades da madeira, mas que os poucos resultados disponíveis são muito inconsistentes; também, que não há relação inversa definitiva entre a massa específica e taxa de crescimento, e por consequência árvores de rápido crescimento não terão necessariamente madeira de baixa qualidade.

BAMBER & BURLEY,⁴ consideram que a taxa de crescimento por si não altera significativamente as propriedades da madeira, porém altera a proporção de lenho juvenil e adulto nas to-

ras de dimensões comerciais.

O espaçamento tem dois importantes efeitos nas propriedades da madeira, influenciando as características da ramificação e a taxa de crescimento, BAMBER E BURLEY.⁴

Desbastes severos estão relacionados com a redução da massa específica e comprimento de traqueóides, além de um possível aumento do lenho de compressão. A poda de galhos de crescimento vigoroso, acelera a transição de lenho juvenil para adulto abaixo do ponto da poda, podendo incrementar a massa específica em cerca de 5% nesta porção do tronco, segundo SCHULTZ.⁶⁵

Sobre o efeito da fertilização, embora não pareça ser negativo sobre a qualidade da madeira, muitos pesquisadores tem mostrado que há uma redução na massa específica e comprimento de traqueóides, podendo a redução da massa específica diminuir a resistência. O efeito da fertilização sobre a massa específica parece estar limitado a fertilizantes à base de nitrogênio, para os quais a redução de 3 a 17% na massa específica tem sido observada, BAMBER & BURLEY.⁴

COWN,²² entretanto, não considera este efeito de importância prática. Considera que pode-se esperar de árvores sadias e vigorosas, resultantes da fertilização, formas superiores e assim apresentarem melhor aproveitamento no desdobramento, que as de crescimento pobre e geralmente de forma ruim.

Há consenso entre vários pesquisadores, que nos programas de melhoramento, os parâmetros de qualidade da madeira tem sido relegados a segundo plano em relação a características como a forma e vigor da árvore. No entanto há a possibilidade de promover adequados avanços nas características de qualidade da madeira, com a tecnologia atualmente existente.

2.2.1.9 Outros fatores que afetam a resistência

Entre outros fatores que afetam a resistência da madeira, estão: o lenho de reação e compressão, as dimensões dos corpos de prova e velocidades de ensaio.

A madeira de compressão que freqüentemente ocorre em coníferas, possui propriedades físicas diferentes da madeira normal. DUTOIT, citado por BAMBER & BURLEY,⁴ encontrou, por exemplo, em *Pinus radiata*, propriedades de resistências menores na madeira de compressão que na madeira normal, exceto para a dureza.

A zona meristemática de árvores com troncos inclinados, reage às tensões resultantes produzindo madeira anormal, conhecida como lenho de reação. Nas coníferas esta formação anormal ocorre no lado interior da curvatura, é conhecida por lenho de compressão (formada no lado comprimido), BOYD citado por BAMBER & BURLEY.⁴ As folhosas também reagem às tensões, desenvolvendo a madeira anormal na parte exterior, conhecida como lenho de reação.

O lenho de compressão, pode também ser causado pela influência dos ventos predominantes, como verificado por OHTA⁶² em *Pinus pinaster*, do lado oposto à direção de ventos fortes predominantes.

As características do lenho de compressão são: traqueóides mais curtos, com seção transversal arredondada, espaços intercelulares, massa específica mais elevada, aumento da lignificação e ângulo microfibrilar, fissuras helicoidais e contração longitudinal mais alta, BAMBER & BURLEY.⁴

Considerando-se as dimensões dos corpos de prova, muitos pesquisadores como KOLLMANN,⁴⁸ GEIER,³⁶ BENDTSEN & SENFT,⁷ res-

saltam que a relação vão-altura da peça a ser testada em flexão estática, é muito importante para evitar a influência de forças de cisalhamento. Neste caso, para que a influência seja mínima, uma relação 15:1 é necessária, pois relações menores evidenciam esta influência.

Em peças estruturais a altura da viga é muito importante, porque com seu aumento há uma diminuição do módulo de ruptura, que segundo CHUGG,²⁴ pode ser calculado através de fórmula empírica para se obter o fator de correlação.

A velocidade do ensaio, isto é, do avanço dos cabeçotes nas máquinas de ensaio, influenciam os resultados. Por essa razão, a velocidade é normalizada para os diferentes tipos de ensaios. De modo geral, mais alta a velocidade, maior o valor do resultado obtido.

2.3 ELASTICIDADE DA MADEIRA

Quando uma determinada carga é aplicada sobre um corpo sólido, este apresenta uma deformação, ao se remover a carga o corpo apresenta uma tendência a retornar à forma e posição originais. Esta tendência é denominada de "elasticidade". Há, entretanto, um limite para que essa tendência ocorra, que é chamado limite elástico; atingindo-se este limite, parte da deformação sofrida torna-se irreversível, PARKER.⁶⁰

A elasticidade é uma característica dos corpos sólidos submetidos a esforços abaixo de um certo limite; acima deste limite, as deformações são chamadas plásticas e prosseguem até ocorrer a ruptura.

Um material é chamado de elástico quando a deformação originada pelo esforço a que foi submetido está abaixo do limi-

te elástico, e a deformação é totalmente retomada após o relaxamento do esforço.

A relação carga-deformação até o limite elástico é proporcional, sendo na prática chamado então de limite proporcional.

Quando os esforços aplicados a um material provocam deformações que vão além do limite proporcional, essas são chamadas plásticas e são irreversíveis, KOLLMANN & COTÉ JR.⁴⁹

O limite proporcional de um material é determinado pelo diagrama carga-deformação durante a realização de ensaios mecânicos, como de flexão estática ou compressão. Na prática, o ponto sobre o diagrama, onde a linha começa perceptivelmente a curvar-se, é o limite proporcional, WANGAARD.⁷

A relação entre as cargas aplicadas e as deformações correspondentes até o limite proporcional é expressa pela lei de Hooke, através da equação:

$$\epsilon = \alpha \cdot \sigma^n$$

onde:

ϵ = deformação específica (alongamento / comprimento original)

σ = tensão em kgf/cm²

α = coeficiente de deformação

n = constante específica para cada material; no caso da madeira, é considerado o valor igual a 1.

Na literatura técnica, normalmente é usado o valor recíproco $1/\alpha = E$; onde E é chamado de módulo de elasticidade ou módulo de Young, e expressa o esforço hipotético, pelo

qual um corpo de 1 cm² de área transversal pode ser estendido à distância igual ao seu comprimento original. Na realidade, o valor real de ϵ é impossível de ser atingido, pois ocorre antes disso a ruptura do material. Em teste de flexão estática, a determinação do módulo de elasticidade pode ser feita com a parte reta da linha descrita pelas avaliações carga-deformação, no limite de proporcionalidade ou limite elástico, KOLLMANN E CO-TÊ JR.⁴⁹

A rigidez da madeira é uma medida de sua aptidão de resistir à deformação imposta pela carga. Desta forma, em termos práticos, um material que é difícil de curvar ou deformar, pode ser chamado de rígido. Por outro lado, um material que é fácil de se curvar sem quebrar, é dito flexível. A rigidez é expressa numericamente através do módulo de elasticidade, em testes de flexão estática, com dois apoios e um ponto de aplicação da carga, WANGAARD.⁷⁷ Este valor pode ser obtido através da fórmula:

$$ME = (P' \cdot L^3) / (d \cdot b \cdot h^3)$$

onde:

ME = módulo de elasticidade (kgf/cm²)

P' = carga no limite proporcional (kg)

L = comprimento do vão (cm)

d = deformação correspondente à carga no limite proporcional (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

Para o cálculo do módulo de elasticidade para dois pontos de aplicação de carga, dispostos simetricamente, a equação passaria a ser:

$$ME = \frac{P' \cdot a}{4 \cdot d \cdot b \cdot h^3} \cdot (3L^2 - 4a^2)$$

onde:

a= distância entre o ponto de aplicação de carga ao apoio mais próximo (cm).

O módulo de elasticidade pode ser determinado por diferentes métodos estáticos e dinâmicos, sendo que, devido a influências específicas a cada condição de teste, como velocidade, dispositivos, esquema de testes, tipos de corpos de prova, etc, deve sempre vir indicado o tipo de teste utilizado na determinação do módulo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESPÉCIES UTILIZADAS

Estudou-se a madeira de duas espécies do gênero *Pinus* introduzidas no Brasil e plantadas no estado de São Paulo. As espécies utilizadas foram: *Pinus oocarpa* Schiêde e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf, provenientes de plantações de 14, 18 e 20 anos da região de Agudos, São Paulo. Estas espécies foram escolhidas por se destacarem pelo ritmo e vigor de crescimento na região onde foram plantadas, e pela necessidade de se conhecer a qualidade da madeira produzida.

3.2 LOCAL E COLETA

A procedência do material para o estudo foi de plantios da Fazenda Monte Alegre, localizada no município de Agudos, estado de São Paulo, com 22° 20' de latitude sul e 48° 51' de longitude oeste de Greenwich, e altitude de 600m.

Os solos predominantes da região são do grupo latossolo vermelho escuro, fase arenosa e, o clima segundo a classificação de Koppen, é do tipo CWA, mesotérmico, com temperatura média mensal de 21,1° C. A precipitação pluviométrica média anual é 1.300 mm, sem déficit hídrico.

De acordo com a espécie e idade, estão relacionados, a seguir os locais de coleta na Fazenda Monte Alegre:

Pinus oocarpa - 18 anos - quadra 77 CM

Pinus oocarpa - 14 anos - quadra 124 BS

Pinus caribaea var *hondurensis* - 20 anos - quadra 75E BS

Pinus caribaea var *hondurensis* - 14 anos - quadra 20A MA

O espaçamento inicial dos plantios de *Pinus oocarpa*, de 14 anos e, de *Pinus caribaea* var *hondurensis*, com 20 anos, foi de 2,0 x 2,5 m.

Para os dois outros povoamentos supracitados, o espaçamento inicial foi de 2,0 x 2,0 m.

Os povoamentos de 14 anos já haviam sido submetidos a 2 tratamentos de desbaste, enquanto que os de 18 e 20 anos, a 3 e 4 desbastes, respectivamente.

3.3 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

A seleção das árvores dentro de cada talhão, de acordo com a espécie e idade, obedeceu às condições previamente estabelecidas, quanto a classe diamétrica e aspecto visual do fuste.

Os diâmetros à altura do peito (DAP), pré-estabelecidos para a seleção das amostras foram:

DAP = 25 ± 3 cm para as árvores de 14 anos

DAP = 33 ± 3 cm para as árvores de 18 e 20 anos

Estas classes de diâmetro foram estabelecidas para se obter amostras médias de cada povoamento e evitar variações acentuadas devido às taxas de crescimentos diferentes entre as amostras.

O aspecto visual do fuste, estabelecido para a seleção da árvore, foi o tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou defeitos, para evitar excessiva presença de lenho de compressão, ou defeitos que inviabilizassem a obtenção de corpos de prova, e que pudessem influir nos resultados.

Após a seleção foram abatidas 10 árvores por população,

procedendo-se as medições de diâmetro e altura, informações estas anotadas por árvore em fichas de campo.

As características físicas médias das árvores coletadas para o estudo são apresentadas na tabela 3.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁRVORES COLETADAS

(N = 10 árvores por espécie por idade)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	<i>Pinus</i> 14 anos	<i>oocarpa</i> - 18 anos	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> 14 anos - 20 anos	
DAP (com casca)					
média	cm	24,75	31,15	26,30	24,90
mínimo		22,60	29,00	24,00	33,00
máximo		29,00	33,00	29,00	39,00
DAP (sem casca)					
média	cm	21,57	26,55	23,60	30,20
mínimo		19,50	24,00	21,50	28,00
máximo		25,00	29,00	26,50	34,50
ALTURA COMERCIAL					
diâmetro = 5 cm					
média	m	21,76	23,31	20,94	29,12
mínimo		18,00	21,80	18,90	25,70
máximo		24,90	24,90	22,30	31,90
PORCENTAGEM DE					
LENHO JUVENIL*	%	77,30	48,16	74,19	45,73

* Estimativa considerando-se o limite como sendo o 10º anel de crescimento a contar da medula a altura do DAP.

De cada amostra, foram serrados cinco discos de aproximadamente 5 cm de espessura, em cinco posições diferentes em relação a altura da árvore. Estas foram: 1,30 m (DAP), 3,50 m, 1/2 da altura comercial, 3/4 da altura comercial e altura comercial, a qual foi fixada na posição em que o diâmetro fosse igual a 5 cm, conforme o procedimento corrente na Empresa Duraflora S.A.. Os discos, após codificados, foram acondicionados em sacos plásticos para evitar a perda da umidade.

Foi também serrado de cada árvore, um torete com 2,2 m de comprimento, com a extremidade inferior cortada na altura do DAP, sendo codificado posteriormente. Após completada a amostragem, os toretes foram transportados para a serraria, onde foram desdobrados, obtendo-se um pranchão central com 9 cm de espessura por 2,20 de comprimento. Tomou-se o cuidado para que a medula permanecesse no centro da prancha.

Os pranchões, assim obtidos, foram banhados em produto preservativo para evitar o desenvolvimento de fungos. Todo o material foi acondicionado e transportado para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, para confecção de corpos de prova e execução do estudo.

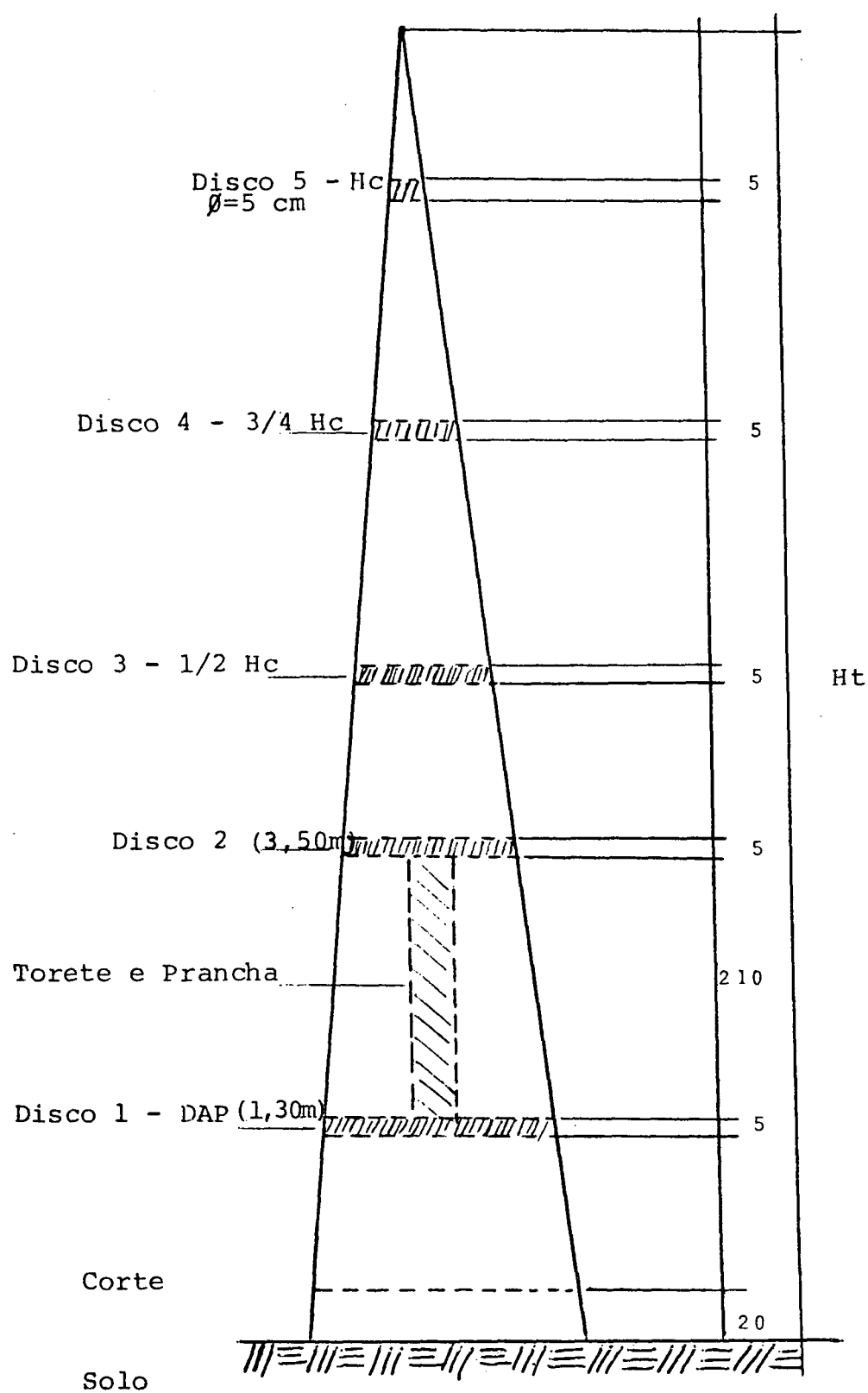
O esquema do corte dos discos e toretes das árvores é apresentado na figura 6.

Procedeu-se o corte dos toretes a partir de 1,30 m do nível do solo, porque desta porção seriam confeccionados os corpos de prova para a determinação de propriedades físicas e mecânicas. Desta forma, evitar-se-ia a influência do sistema radicular das árvores, a possível presença de lenho de compressão e, também, para obter-se resultados que representassem a média da porção do tronco aproveitado comercialmente para madeira sólida, o que normalmente ocorre até a altura de 6 m do solo.

Cada pranchão foi serrado em 8 peças, conforme esquema apresentado na figura 7, dividindo-se as peças resultantes por tipo de lenho, internos para as serradas próximas à medula, e externos para as peças obtidas próximo à casca.

As peças de lenho interno e lenho externo de cada amo-

FIGURA 6 - ESQUEMA DE RETIRADA DO MATERIAL PARA O ESTUDO



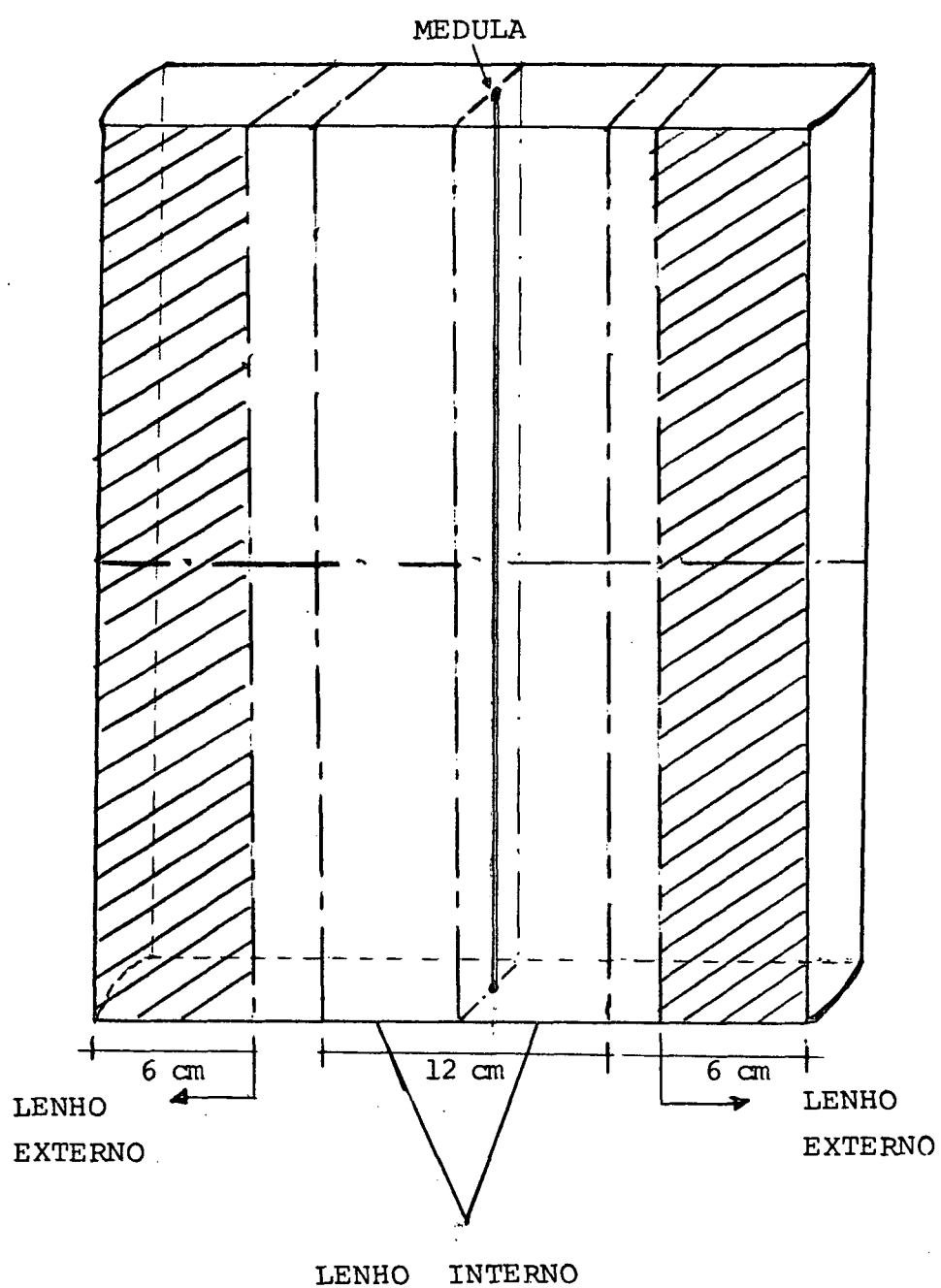
* ----- = linhas de corte

** medidas em cm

*** Ht = altura total

**** Hc = altura comercial (diâmetro de 5 cm)

FIGURA 7 - ESQUEMA DE CORTE DOS PRANCHÕES, SEPARANDO-SE
PEÇAS DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO



tra foram codificadas, separando-se 2 peças de cada lenho por amostra, para a confecção de corpos de prova destinados a determinação de propriedades físicas e mecânicas no estado verde; a outra metade destinou-se para confecção de corpos de prova para a determinação de propriedades mecânicas no estado seco.

Os corpos de prova destinados às determinações no estado verde, foram confeccionados logo após o corte dos pranchões, sendo preparados com secções transversais de 5 x 5 cm para testes mecânicos e com 2,5 x 2,5 cm para a determinação das propriedades físicas, também separando-se em corpos de prova de lenhos interno e externo.

Os corpos de prova destinados às determinações no estado seco, foram confeccionados após secagem lenta das peças em estufa, até atingirem um teor de umidade em torno de 30%. Posteriormente sofreram acondicionamento em ambiente controlado, a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ UR, até atingirem cerca de 15% de umidade.

Após a confecção dos corpos de prova, estes foram novamente acondicionados nas condições anteriormente mencionadas, até atingirem a umidade de equilíbrio, para a realização dos ensaios.

Durante a preparação dos corpos de prova, cuidou-se para que os mesmos fossem bem orientados em relação a disposição dos anéis de crescimento.

Cinco árvores dentre as de 14 anos, não forneceram peças de lenho interno com dimensões suficientes para a confecção de corpos de prova com secções transversais de 5x5 cm; optou-se então em confeccionar corpos de prova do lenho exterior.

Foram preparados, no total, 600 corpos de prova para ensaios mecânicos e 320 para determinação de propriedades físicas.

3.4 ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

As propriedades da madeira estudadas neste trabalho foram:

- massa específica básica em relação a altura no tronco da árvore.
- massa específica aparente do lenho interno e externo (próximo à medula e externo), a 15% de umidade;
- retratibilidade da madeira, dos lenhos interno e externo;
- características morfológicas dos traqueóides;
- porcentagem de lenho tardio, dos lenhos interno e externo;
- propriedades mecânicas de flexão estática e compressão paralela às fibras da madeira dos lenhos interno e externo, nos estados verde e seco (15% de umidade).

3.4.1 Determinação da Massa Específica

A determinação da massa específica aparente básica (relação entre massa seca em estufa pelo volume no estado completamente saturado), foi realizada com os discos sem casca, coletados em 5 posições ao longo do fuste de cada árvore.

Utilizou-se a relação:

$$r = P_o / V_u \quad (\text{g/cm}^3)$$

onde:

r = massa específica básica (g/cm^3)

P_o = massa do disco seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (g)

V_u = volume do disco em estado saturado (cm^3)

O volume dos discos foi obtido pelo método de pesagem do volume de água deslocado com a imersão dos discos de madeira completamente saturados. A água possui peso específico igual a 1, desta forma, o volume de água deslocado, será igual ao seu peso, que é lido diretamente na balança.

A determinação da massa específica básica dos discos foi realizada objetivando conhecer-se a variação da mesma em relação à altura da árvore.

A massa específica aparente foi determinada através dos corpos de prova de retratibilidade e das propriedades mecânicas, em duas condições, sendo a primeira pela relação do peso (P_u) e volume (V_u) por ocasião do ensaio, isto é, após acondicionamento em ambiente controlado a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ UR e antes da realização do teste e, a segunda, pela relação peso seco (P_o) em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e volume (V_u) na ocasião do teste.

O volume foi determinado pelo método estereométrico, através da medição das dimensões do corpo de prova efetuada com micrometro e paquímetro.

No caso dos corpos de prova utilizados para a determinação de propriedades mecânicas no estado verde, o volume foi determinado no estado verde, isto é, na ocasião do teste, quando todos os corpos de prova apresentavam teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (30%).

As relações utilizadas para os cálculos foram:

$$r_u = P_u / V_u \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$r = P_o / V_u \quad (\text{g/cm}^3)$$

onde:

r_u = massa específica aparente

P_u = massa do corpo de prova por ocasião do teste (g)

P_o = massa do corpo de prova seco em estufa, a
 $103 \pm 2^\circ\text{C}$

V_u = volume do corpo de prova na ocasião do teste
 (cm³)

Teor de Umidade: o teor de umidade foi determinado pelo método de pesagem, pesando-se inicialmente a amostra na umidade atual, e depois, após a secagem em estufa, a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, que perdurou até observar-se peso constante.

Utilizou-se a fórmula abaixo para o cálculo:

$$U = (P_u - P_o) / P_o \cdot 100 (\%)$$

onde:

U = umidade da madeira (%)

P_u = massa da amostra úmida (g)

P_o = massa da amostra seca em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

3.4.2 Determinação da Retratabilidade

Foram determinados os coeficientes de contração máxima tangencial, radial e volumétrica, o fator de anisotropia, e os coeficientes de retratabilidade tangencial e radial.

Os corpos de prova foram confeccionados nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, de acordo com a norma COPANT 30:1-005, bem orientados nos sentidos de crescimento, tanto para o lenho interno como para o lenho externo.

Foram selecionados 320 corpos de prova para a determinação da retratabilidade, sendo 8 de cada árvore, subdivididos em 4 de lenho interno e 4 de lenho externo.

O objetivo da separação dos corpos de prova em internos e externos, foi verificar as possíveis diferenças existentes na parte central do tronco, formada por lenho juvenil e a porção externa por lenho de características adultas, e, por consequência, diminuir a variação nos resultados por análise isolada.

Foram realizadas medições no estado verde ($U > 30\%$), após acondicionamento em ambiente controlado a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ de UR, depois de verificada constância nas pesagens realizadas para controle da secagem e, por último, após secagem dos corpos de prova, em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até peso constante. As medições das dimensões tangencial e radial foram feitas com micrometro e a longitudinal com paquímetro, sempre na mesma posição que foi previamente marcada no corpo de prova. Todas as medidas foram anotadas em formulários próprios.

Os cálculos foram realizados através das seguintes fórmulas:

$$\beta(t,r) = (L_u - L_o) / L_u \cdot 100 (\%)$$

$$\beta_v = (V_u - V_o) / V_u \cdot 100 (\%)$$

$$C.R = \frac{(L_{ac} - L_o) \cdot P_o}{L_o \cdot (P_{ac} - P_o)}$$

$$C.A = \beta_t / \beta_r$$

onde:

β = coeficiente de contração máxima (%)

CR = coeficiente de retratibilidade (%/%)

CA = coeficiente de anisotropia

L_u = média das dimensões no estado verde (mm)

L_{ac} = média das dimensões após acondicionamento (mm)

L_o = média das dimensões após secagem em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (mm)

P_{ac} = massa do corpo de prova após acondicionamento
(g)

P_o = massa do corpo de prova seco em estufa a
 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (g)

v = volume do corpo de prova

t = direção tangencial

r = direção radial

3.4.3 Determinação da Porcentagem de Lenho Tardio

A porcentagem de lenho tardio foi determinada nos corpos de prova destinados aos ensaios mecânicos, após a realização dos ensaios, quando estes foram lixados nas faces transversais. Procedeu-se, então, à demarcação dos lenhos tardio e inicial dentro de cada anel de crescimento utilizando-se uma lupa, quando necessário.

Mediu-se com escala graduada a dimensão total da face transversal na parte central, perpendicularmente aos anéis de crescimento, medindo-se em seguida as faixas correspondentes ao lenho tardio, somando-se as medidas e calculando-se a porcentagem, em relação à medida total. O procedimento foi realizado nas 2 faces transversais, obtendo-se a média para cada corpo de prova.

A relação utilizada para o cálculo foi:

$$\% \text{ LT} = \frac{\sum lt}{DT} \cdot 100 \quad (\%)$$

onde:

$\% \text{ LT}$ = porcentagem de lenho tardio (%)

$\sum lt$ = somatória do lenho tardio (cm)

DT = dimensão total da face do corpo de prova no sentido perpendicular aos anéis de crescimento

3.4.4 Determinação das Características Morfológicas dos Traqueóides

As características morfológicas dos traqueóides foram determinadas nas 10 árvores de *Pinus oocarpa* de 18 anos, e nas 10 árvores de *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 20 anos, somente na altura do DAP.

Retirou-se do disco à altura do DAP, uma faixa de 5 cm de largura, com serra fita, de tal forma que a medula permanesse ao centro. Demarcou-se os anéis de crescimento, enumerando-os no sentido medula-casca. Separou-se em seguida, os anéis de crescimento de números 2,5,8,11,14,17 e 19, conforme a existência dos anéis no disco.

Os anéis de crescimento separados foram transformados em pequenos palitos, que foram submetidos a processo de maceração pelo método de JEFREY. O material macerado obtido, foi colorido com solução aquosa de safranina a 1%, submetido a desidratação posterior em série alcoólica e, finalmente, com xilol. Procedeu-se então à montagem em lâminas com meio de montagem entellan, conforme metodologia apresentada por GOMES & RICHTER.³⁹

Na montagem das lâminas, para se evitar erros de amostragem devido a possível formação de extratos na placa de Petri que continha o material macerado, procedeu-se a agitação do líquido para manter as células em suspensão.

Foram montadas 4 lâminas para cada anel de crescimento.

Após a secagem das lâminas, procedeu-se às medições do comprimento, diâmetro e espessura das paredes dos traqueóides

em microscópio binocular ZEISS, utilizando-se lente ocular com escala graduada e objetivas de 3,2 aumentos para medições em comprimento, e de 40 aumentos para as medições do diâmetro e espessura das paredes.

As medições de traqueóides do lenho inicial e tardio, dentro de cada anel foram realizadas separadamente, para se evitar uma alta variação nos resultados, bem como observar as diferenças entre os mesmos.

Foram realizadas 20 medições de traqueóides do lenho inicial e 20 do lenho tardio em cada anel, totalizando 40 medições por anel, sendo medidos em média 10 traqueóides por lâmina.

As medições foram anotadas, calculando-se ao final a média e coeficiente de variação para cada característica dentro do anel para o lenho inicial e tardio.

3.4.5 Determinação das Propriedades Mecânicas da Madeira

As propriedades mecânicas determinadas para este estudo foram flexão estática e compressão paralela às fibras da madeira, ambas no estado verde e no estado seco a, aproximadamente, 15% de umidade, após acondicionamento em ambiente controlado a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ de UR, até obtenção de constância nos pesos dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram confeccionados a partir das pranchas serradas dos toretes de 2,20 m de comprimento, cortados de cada árvore selecionada para *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos e *Pinus caribea* var *hondurensis* de 14 e 20 anos. Os corpos de prova foram divididos em 2 grupos, com corpos de prova de lenho interno e de lenho externo, separadamente.

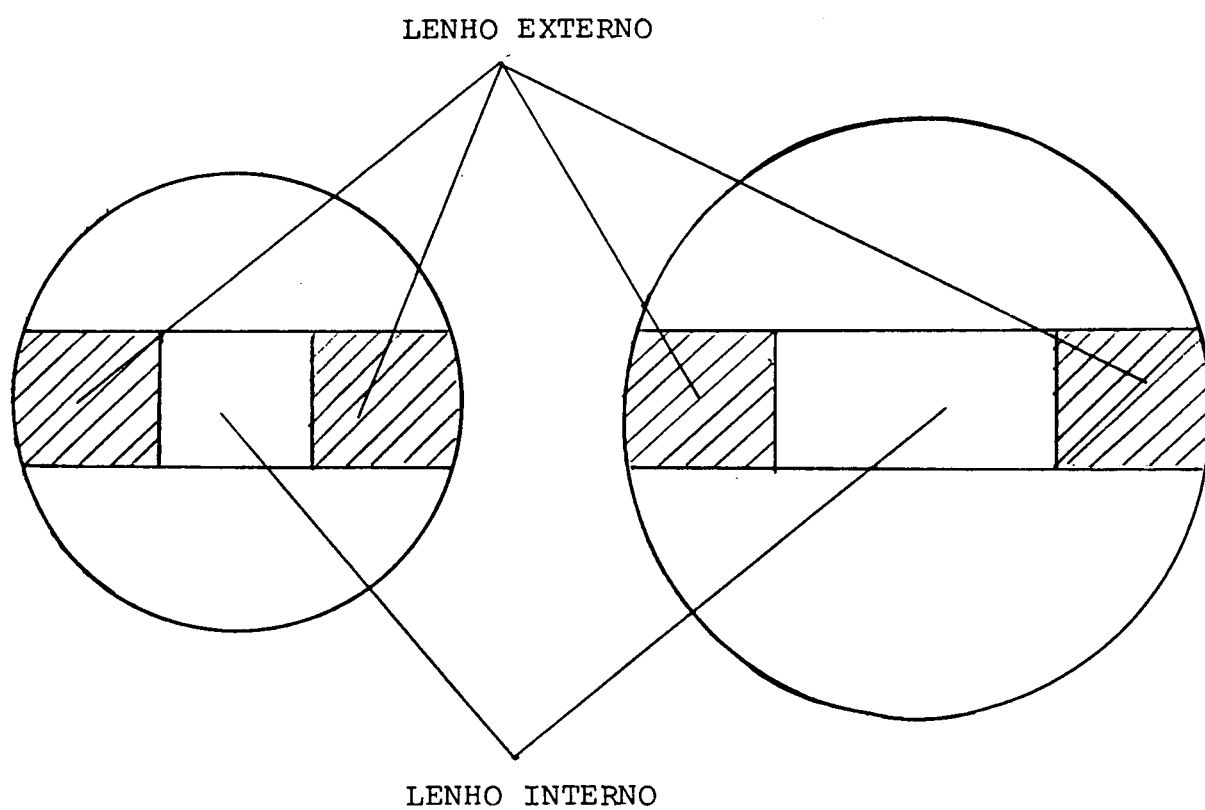
Chamou-se de corpos de prova de lenho interno os que foram confeccionados a partir das peças serradas próximas à medula, e de lenho externo os que foram confeccionados a partir das peças serradas na porção externa das pranchas. O esquema de corte utilizado é apresentado na figura 8.

Cinco árvores serradas, entre as de 14 anos, resultaram em pranchas com dimensões insuficientes, para o corte das peças em lenho interno e externo para a confecção de corpos de prova na dimensão prevista. Optou-se neste caso por confeccionar corpos de prova apenas da porção externa.

Adotou-se corpos de prova de lenho interno e externo, objetivando verificar a variação do comportamento da madeira destas porções de árvores e, conseqüentemente, evitando-se a alta variação que poderia ocorrer caso fosse o material considerado como um todo. Isto se justifica, principalmente porque a madeira central das espécies do gênero *Pinus*, especialmente a proveniente de árvores de rápido crescimento de plantações intensamente manejadas, como é o caso da madeira em estudo, apresenta alta proporção de lenho juvenil na porção central do tronco, passando gradativamente a adquirir característica de lenho adulto na porção externa com o aumento da idade.

Sabe-se pela literatura que o limite entre o lenho juvenil e adulto situa-se em alguma parte entre o 5º e o 20º anel de crescimento, BENDTSEN.⁶ Para efeitos de determinação, adotou-se o décimo anel a contar da medula, conforme sugere ZOBEL citado por PEARSON & GILMORE⁶¹ para delimitação dos lenhos em *Pinus taeda*, em disco à altura do DAP. Assim, estimou-se para as espécies e idades da madeira do presente estudo, a porcentagem de lenho juvenil, obtendo-se para as árvores de 14 anos cerca

FIGURA 8 - ESQUEMA DE CORTE DAS PEÇAS DE LENHO INTERNO E
LENHO EXTERNO EM RELAÇÃO À POSIÇÃO NO TRONCO.



de 75% e nas de 20 anos cerca de 45%.

Considerando-se as proporções estimadas de lenho juvenil para as árvores de 14 anos, não seria possível obter-se corpos de prova com as dimensões desejadas (5x5cm de secção transversal) do lenho adulto; assim ressalta-se que nesse caso os corpos de prova denominados de lenho externo, são também compostos por lenho juvenil.

Considerando-se os aspectos acima, acrescidos da necessidade de se conhecer as variações nas propriedades que ocorrem na utilização prática, e a tendência de aumento das propriedades de resistência com o aumento da idade da árvore, separou-se os lenhos em interno e externo.

A terminologia lenho interno e externo foi também adotada por PEARSON & GILMORE⁶¹ em seu estudo com *Pinus taeda* de 3 idades distintas, e por CHOONG et alii¹⁹ no estudo com *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, tendo este pesquisador ainda considerado um lenho intermediário.

A confecção dos corpos de prova e a execução dos testes foram realizados de acordo com as prescrições das normas da COPANT 30 : 1-006 e 30 : 1-008, para os testes de flexão estática e compressão paralela às fibras, respectivamente.

As condições de execução dos ensaios são apresentadas na Tabela 4.

Adotou-se a secção transversal de 5 x 5 cm para os corpos de prova, para atenuar a variação nos resultados devido a existência de anéis de crescimento bastante largos, especialmente na madeira interna (próxima à medula).

O vão utilizado nos ensaios de flexão estática foi de 75 cm, para se ter a relação vão-altura mínima de 15 : 1, minimizando desta forma o efeito de forças de cisalhamento sobre

os resultados obtidos.

TABELA 4 - DETALHES DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIOS DE
PROPRIEDADES MECÂNICAS

ENSAIO	CONDIÇÃO DA MADEIRA	DIMENSÃO DO CORPO DE PROVA (cm)	VELOCIDADE DO ENSAIO (mm/ min)	Nº DE CORPOS DE PROVA	OUTROS DETALHES
FLEXÃO ESTÁTICA	VERDE	5 x 5 x 80	2,5	150	vão 75cm
	SECA	5 x 5 x 80	2,5	150	vão 75cm
COMPRESSÃO	VERDE	5 x 5 x 20	0,6	150	vão 15cm
PARALELA ÀS FIBRAS	SECA	5 x 5 x 20	0,6	150	vão 15cm

As deformações e cargas no limite proporcional, foram obtidas de diagramas confeccionados automaticamente durante os ensaios.

Os equipamentos utilizados para a execução dos testes foram: máquinas de ensaio universal de marcas SHIMADZU UMH 50T com capacidade de 2,5 a 50 toneladas, de procedência japonesa, pertencente ao Centro de Tecnologia Industrial do Instituto de Tecnologia do Paraná e TINIUS OLSEN, com capacidade de 0,3 a 30 toneladas, de procedência norte-americana, pertencente ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná. Os implementos necessários aos testes executados foram: defletômetros, suportes e equipamento auxiliar para medição automática da deformação e confecção de gráficos.

Os resultados dos testes e dados obtidos dos corpos de prova e dos diagramas carga-deformação foram anotados em formulários específicos. De posse desses dados procedeu-se aos cálculos dos Módulos de Ruptura, Módulos de Elasticidade e tensão no limite proporcional através das fórmulas:

Flexão estática:

$$MR = 3/2 (P.L) / (b.h^2) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$ME = 1/4 (P'.L^3) / (d'.b.h^3) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$Tlp = 3/2 (P'.L) / (b . h^2) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

Compressão paralela às fibras:

$$MR = P / (a.b) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$MR = (P'.L) / (a.b.d') \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$Tlp = p' / (a.b) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

onde:

$$MR = \text{Módulo de ruptura} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$ME = \text{Módulo de elasticidade} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$Tlp = \text{Tensão no limite proporcional} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$p = \text{Carga máxima} \quad (\text{kgf})$$

$$p' = \text{Carga no limite proporcional} \quad (\text{kgf})$$

$$L = \text{Comprimento do vão} \quad (\text{cm})$$

$$d' = \text{Deformação correspondente à carga} \\ \text{no limite proporcional} \quad (\text{cm})$$

$$a = h = \text{Altura do corpo de prova} \quad (\text{cm})$$

$$b = \text{Largura do corpo de prova} \quad (\text{cm})$$

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos resultados obtidos nas determinações das propriedades físicas, mecânicas e anatômicas de *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos, e *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 14 e 20 anos, foi realizada através de cálculos estatísticos básicos para a determinação de médias e coeficientes de variação,

análise de variância entre posições para as propriedades, comparação de médias pela aplicação do teste de Tukey, e análise de regressões ajustadas entre propriedades físicas e mecânicas.

a) Cálculos estatísticos básicos;

- determinação da média e coeficiente de variação das:
- massa específica básica a diferentes alturas no tronco;
- massa específica básica e aparente de corpos de prova de lenho interno e lenho externo;
- propriedades de retratibilidade dos lenhos interno e externo;
- porcentagens de lenho tardio de corpos de prova dos lenhos interno e externo;
- características morfológicas dos traqueóides nos diferentes anéis de crescimento, para lenho inicial e tardio;
- propriedades de resistência à flexão estática dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade;
- propriedades de resistência à compressão paralela às fibras dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade.

b) Análise da variância entre propriedades:

- massa específica básica entre as diferentes alturas no tronco, para as espécies e idades;
- massa específica básica ao nível do DAP, entre as espécies e idades;
- massa específica básica e aparente dos lenhos interno e externo, entre espécies e idades;

- contração volumétrica máxima dos lenhos interno e externo, entre espécies e idades;
- propriedades de resistência à flexão estática dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade, entre espécies e idades;
- propriedades de resistência à compressão paralela às fibras dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade, entre espécies e idades.

c) Comparação de médias pelo Teste de Tukey:

- massa específica básica entre as diferentes alturas no tronco, para as espécies e idades;
- massa específica básica ao nível do DAP, entre as espécies e idades;
- contração máxima volumétrica dos lenhos interno e externo, entre espécies e idades;
- propriedades de resistência à flexão estática dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade, entre espécies e idades;
- propriedades de resistência à compressão paralela às fibras, dos lenhos interno e externo, nas condições verde e a 15% de umidade, entre espécies e idades.

d) Regressões entre propriedades

Os modelos de equações de regressão linear utilizados para ajustamento de curvas, para as relações entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira foram:

$Y = a + bx$	-	linear simples
$Y = a + b_1x + b_2x^2$	-	polinomial de 2º grau
$Y = a \times b^x$	-	exponencial

As relações entre as propriedades foram:

- contração volumétrica máxima (Y) e massa específica (x), para os lenhos interno e externo, das espécies e idades separadamente e combinadas;
- massa específica (Y) e porcentagem de lenho tardio (x), para espécies e idades, e combinação das idades para as espécies;
- propriedades de resistência à flexão estática (Y), nos estados verde e a 15% de umidade, com a massa específica (x) e porcentagem de lenho tardio (x) para os lenhos interno e externo, separadamente para as idades e espécies, e combinando os tipos de lenho e idades para as espécies;
- propriedades de resistência à compressão paralela às fibras (Y), nos estados verde e a 15% de umidade, com a massa específica (x) e porcentagem de lenho tardio (x), para os lenhos interno e externo, separadamente para as idades e espécies, e combinando os tipos de lenho e idades para as espécies.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MASSA ESPECÍFICA

4.1.1 Massa específica básica a diferentes alturas

Os resultados médios obtidos nas determinações da massa específica básica da madeira, a partir de discos coletados ao longo do fuste das árvores, são apresentados na tabela 5.

TABELA 5 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE DISCOS A 5 ALTURAS AO LONGO DO FUSTE, PARA *PINUS OOCARPA* (14 e 18 ANOS) E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* (14 e 20 ANOS). RESULTADOS MÉDIOS DE 10 ÁRVORES POR ESPÉCIE E IDADE. (Resultados em g/cm³)

ESPÉCIE	IDADE (anos)	ALTURA COMERCIAL (Hc em m)	MÉDIAS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA À ALTURAS				
			DAP (Hc em m)	3,50m	1/2 Hc	3/4 Hc	Hc (Ø = 5cm)
<i>Pinus oocarpa</i>	14	21,76	<u>0,488</u>	<u>0,463</u>	<u>0,442</u>	<u>0,421</u>	<u>0,394</u>
CV%		9,4	4,2	4,6	5,6	5,2	6,8
<i>Pinus oocarpa</i>	18	23,31	<u>0,484</u>	<u>0,462</u>	<u>0,438</u>	<u>0,425</u>	<u>0,391</u>
CV%		4,9	6,4	7,0	5,0	7,3	6,7
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	14	20,94	<u>0,454</u>	<u>0,436</u>	<u>0,419</u>	<u>0,408</u>	<u>0,355</u>
CV%		5,5	11,4	11,0	9,7	10,5	14,1
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	20	29,12	<u>0,508</u>	<u>0,480</u>	<u>0,446</u>	<u>0,426</u>	<u>0,399</u>
CV%		7,1	12,7	8,1	6,0	7,3	9,8

* As médias sublinhadas não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 99% de probabilidade.

A tabela 6 apresenta o resumo das análises de variância das massas específicas para as 2 espécies e idades ao longo do tronco, e entre as 2 espécies e idades ao nível do DAP (1,30m).

TABELA 6 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA A DIFERENTES ALTURAS PARA *PINUS OOCARPA* (14 e 18 anos) E *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS* (14 e 20 anos), E ENTRE AS 2 ESPÉCIES E IDADES AO NÍVEL DO DAP.

TRATAMENTO	N	GL ALTURAS	GL RESÍDUO	F calculado	F tabelado	SIGNIFICÂNCIA
<i>Pinus oocarpa</i>						
14 anos	50	4	45	24,58	3,8	**
<i>Pinus oocarpa</i>						
18 anos	50	4	45	15,31	3,8	**
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>						
14 anos	50	4	45	5,92	3,8	**
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>						
20 anos	50	4	45	13,47	3,8	**
Massa específica ao nível do DAP						
	40	3	36	2,61	2,89	n.s.

** diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade

n.s. diferença não significativa

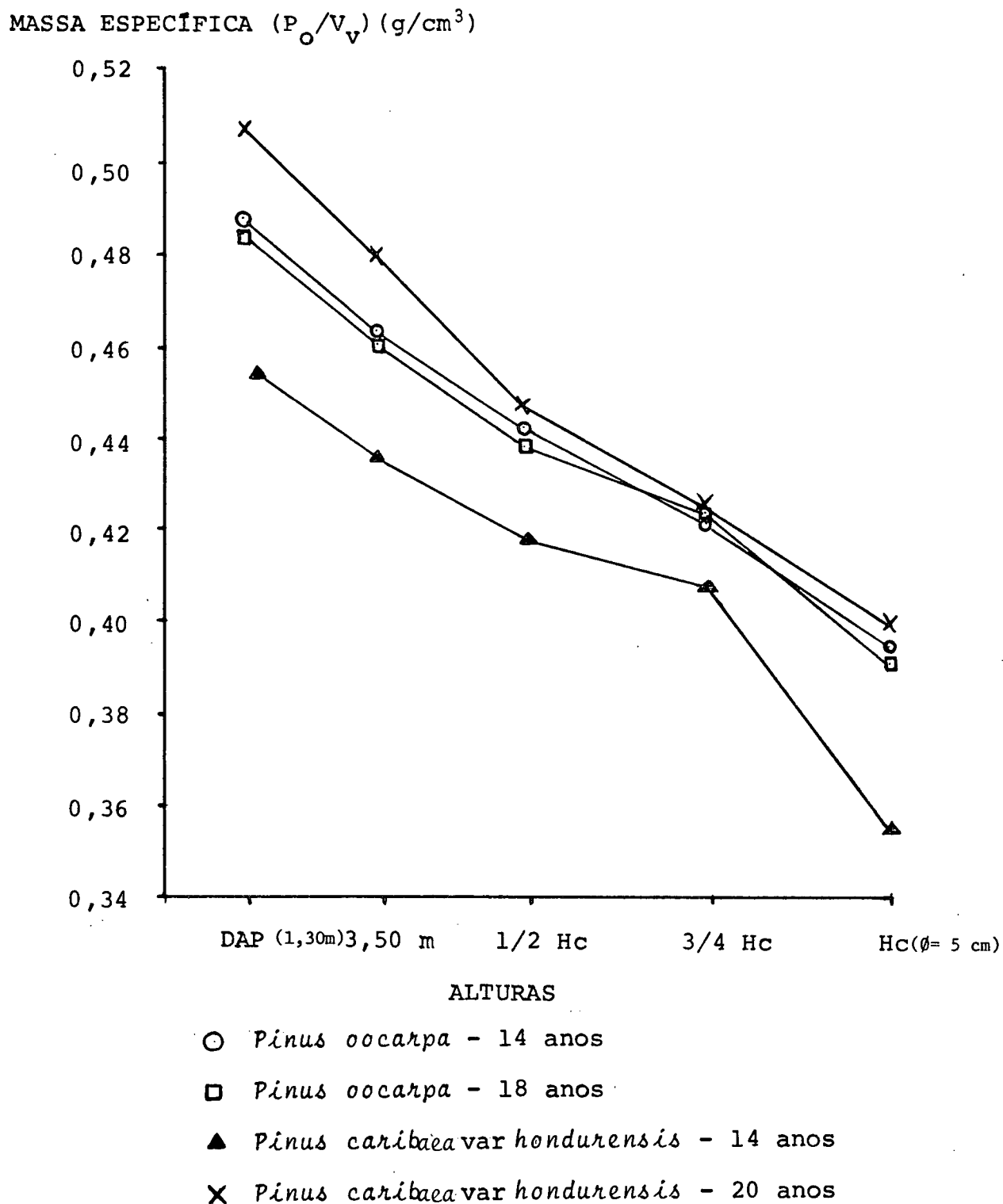
Os resultados médios apresentados na tabela 5 e representados graficamente na figura 9 mostram o decréscimo da massa específica com a altura para as duas espécies e idades estudadas. Esta tendência é ressaltada por vários pesquisadores como CHOONG et alii,¹⁹ ELLIOT,³² GOGGANS³⁸ e KOLLMANN,⁴⁸ entre outros. O decréscimo da massa específica com a altura para espécies do gênero *Pinus* é esperado, e origina-se pelo efeito da idade, pois a maiores alturas há menor número de anéis de crescimento. Eliminando-se o efeito da idade e comparando-se a madeira com o mesmo número de anéis de crescimento a partir da medula, a massa específica virtualmente permanece constante a qualquer nível do tronco, COWN.²¹

As análises de variância realizadas, conforme resumo apresentado na tabela 6, mostraram que o decréscimo da massa específica das duas espécies e idades estudadas com a altura, considerando-se o efeito da idade, é significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Com a aplicação do Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade, na comparação entre as médias da massa específica, para se observar a que níveis da altura ocorreram as diferenças, observou-se que: para o *Pinus oocarpa* nas duas idades, ocorreram diferenças entre a massa específica a altura do DAP e 1/2 da altura comercial, a 3,50 m e 3/4 da altura comercial, e entre a 1/2 da altura comercial e altura comercial. Para *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 14 anos, entre a 1/2 da altura comercial e altura comercial; e de 20 anos, entre a altura do DAP e 1/2 da altura comercial e entre 3,50 m e altura comercial.

A análise de variância da massa específica ao nível do DAP entre as espécies e idades, não mostrou significância esta-

FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA (MASSA SECA/VOLUME VERDE) COM A ALTURA, PARA *PINUS OOCARPA* E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS*.



tística, aceitando-se desta forma, a hipótese de igualdade entre as mesmas.

De maneira geral, os valores médios da massa específica, básica ao nível do DAP, determinados para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, assemelham-se aos resultados apresentados na literatura, para espécies do gênero *Pinus*, como por CHOONG et alii¹⁹ e KOCH,⁴⁷ entre outros, na faixa de 0,46 a 0,57 g/cm³.

Os valores obtidos, bem como a tendência de decréscimo da massa específica com a altura e, a inexistência de significância estatística ao nível do DAP para as duas espécies, estão em concordância com os resultados observados por CAMARGO,¹⁶ em árvores da mesma procedência com idades de 18 e 25 anos. Porém, os resultados à altura comercial apresentaram-se ligeiramente superiores (0,41 a 0,43 g/cm³) comparados aos observados neste estudo.

Os resultados médios da massa específica a diferentes alturas entre *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos, embora não comparados estatisticamente, apresentaram-se muito semelhantes, conquanto se esperasse que as árvores de maior idade viessem a apresentar médias maiores nas alturas inferiores; já para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, as árvores de 14 anos apresentaram médias inferiores às de 20 anos, e coeficientes de variação superiores indicando maior variabilidade na população.

A alta variação da massa específica na árvore e entre árvores é uma característica no gênero *Pinus* e é devida a fatores genéticos, ambientais, silviculturais e outros, podendo chegar a 30% em relação à média da espécie, segundo TRENDELENBURG & MAYER-WEDELIN.⁷⁴

4.1.2 Massa específica aparente de lenho interno e lenho externo

Os resultados médios das massas específicas do lenho interno e lenho externo de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis* determinados em corpos de prova da madeira coletada entre a altura do DAP e 3,50 m, são apresentados na tabela 7.

TABELA 7 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE *PINUS OOCARPA* (14 e 18 anos) E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* (14 e 20 anos), DETERMINADA EM CORPOS DE PROVA DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO. (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m)

PROPRIEDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE (LENHO)	<i>Pinus oocarpa</i>		<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
Massa específica básica	Interno	0,39	0,39	0,35	0,38
(massa seca/volume verde)		10,9	9,8	13,9	9,2
CV%	Externo	0,46 ab	0,50 a	0,43 b	0,50 a
		10,2	8,4	11,0	4,1
Massa específica aparente	Interno	0,41	0,41	0,39	0,43
(massa seca/volume úmido)		7,7	9,9	9,4	10,6
U= 15%					
CV%	Externo	0,49 ab	0,53 a	0,46 b	0,55 a
		10,7	10,7	11,6	13,9
Massa específica aparente	Interno	0,49	0,48	0,45	0,49
(massa úmida/volume úmido)		11,1	10,1	10,6	9,3
U= 15%	Externo	0,59 ab	0,61 ab	0,56 b	0,64 a
CV%		10,1	9,6	12,4	10,8

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade, pela comparação do teste de Tukey.

Os resultados determinados para a massa específica pelas relações entre a massa seca e volume verde (P_O/V_U), massa seca e volume a 15% de umidade (P_O/V_U) e, massa e volume a 15% de umidade (P_U/V_U), mostram valores crescentes na ordem apresentada, como era esperado, visto que a massa contida no volume a 15% de umidade ser maior devido a contrações sofridas pela madeira durante a secagem e, pela massa obtida a 15% de umidade considerar também, a massa de água contido no corpo de prova.

A análise de variância para as massas específicas do lenho interno das duas espécies e idades, não apresentou diferenças com significância estatística a 99% de probabilidade, o que era esperado, visto que o lenho interno foi delimitado aos primeiros anéis de crescimento.

A análise de variância das massas específicas do lenho externo, apresentou diferenças significativas ao nível de 99% de probabilidade, procedendo-se a comparação das médias entre as espécies e idades, pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade, observou-se que: entre as duas idades do *Pinus oocarpa* não houve diferença significativa; entre as duas idades do *Pinus caribaea* var *hondurensis* houve diferença significativa; entre as duas espécies, nas idades de 14 anos não houve diferença significativa, o mesmo ocorreu para as idades de 18 e 20 anos.

As diferenças observadas para o lenho externo, além da variação normal existente entre árvores, possivelmente está relacionada à idade. As árvores de maiores idades (18 e 20 anos) das duas espécies, forneceram corpos de prova confeccionados da porção mais externa do lenho, que continham maior proporção de

madeira adulta, comparado aos das árvores de 14 anos, esperando-se assim, valores médios superiores de massa específica.

A massa específica do lenho externo das árvores de 14 anos das duas espécies foi cerca de 20% maior do que a de lenho interno; para as árvores de 18 e 20 anos, a diferença aumentou para 28,2 e 29,8%, respectivamente.

Segundo BENDTSEN,⁶ a variação crescente da massa específica da medula para a casca ocorre pelas diferenças anatômicas entre o lenho juvenil e adulto, onde paredes mais finas e baixa porcentagem de lenho tardio nos anéis de crescimento, combinam e interagem conferindo ao lenho juvenil uma massa específica mais baixa.

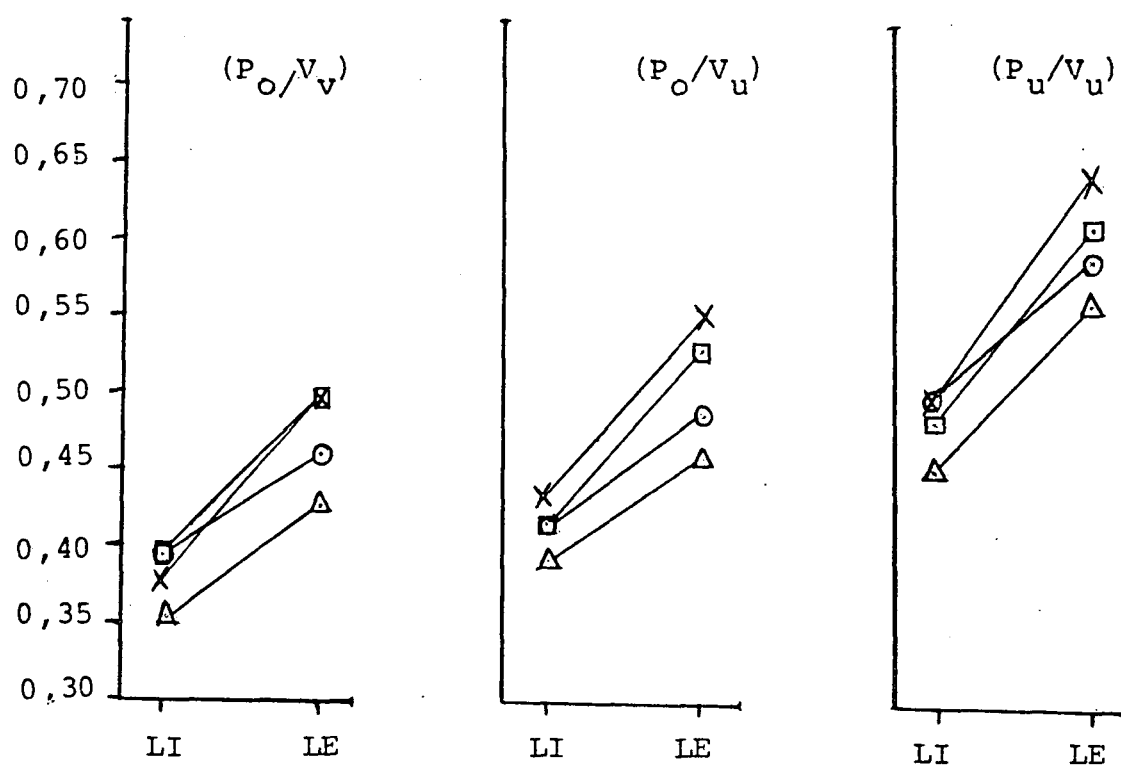
As diferenças entre a massa específica dos lenhos interno e externo, determinadas para as duas espécies e idades, estão em concordância com a tendência observada por vários pesquisadores. Por exemplo, PEARSON & GILMORE⁶¹ observaram diferenças entre as massas específicas (massa seca / volume à umidade média de 10,6%) de lenho interno e externo de *Pinus taeda* de 15 e 20 anos, em cerca de 23 e 16%. Vários pesquisadores citam diferenças que chegam a cerca de 80%.

A figura 10, ilustra graficamente as diferenças observadas entre as massas específicas de lenho interno e externo para as duas espécies e idades estudadas.

De maneira geral, os valores médios obtidos nas determinações da massa específica dos lenhos interno e externo para as relações massa seca/volume verde (P_o/V_v), massa seca / volume a 15% de umidade (P_o/V_u) e massa/volume a 15% de umidade (P_u/V_u), assemelham-se aos apresentados na literatura, como por exemplo CHOONG et alii,¹⁹ PEARSON & GILMORE⁶¹ e TOMASELLI,⁷³ que obser-

FIGURA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO DE *PINUS OOCARPA* (14 e 18 anos) E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* (14 e 20 anos).

MASSA ESPECÍFICA (g/cm^3)



○ - *Pinus oocarpa* - 14 anos

□ - *Pinus oocarpa* - 18 anos

△ - *Pinus caribaea* var *hondurensis* - 14 anos

× - *Pinus caribaea* var *hondurensis* - 20 anos

LI - Lenho Interno

LE - Lenho externo

P_O - Peso seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$

P_u - Peso no teor de umidade de 15%

V_V - Volume verde (saturado)

V_u - Volume no teor de umidade de 15%.

varam resultados de massa específica distinta para lenho interno e externo em *Pinus palustris*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. As médias da massa específica determinadas para o lenho externo das duas espécies assemelham-se às apresentadas por KOCH⁴⁷ para espécies do gênero *Pinus* do sul dos Estados Unidos, enquanto que a massa específica do lenho interno, apresenta-se sempre inferior ao valor médio da massa específica para espécies do gênero.

4.1.3 Massa específica e porcentagem de lenho tardio.

Os resultados obtidos na determinação da porcentagem de lenho tardio em corpos de prova dos lenhos interno e externo para as duas espécies e idades estudadas, são apresentadas na tabela 8.

Os resultados obtidos na determinação da porcentagem de lenho tardio, mostram grandes diferenças entre as médias de lenho interno e lenho externo. Para as árvores de 14 anos das duas espécies, a porcentagem de lenho tardio encontrada para o lenho externo foi cerca de 160% maior que do lenho interno. Para as árvores de maior idade, a diferença aumentou para cerca de 210% para o *Pinus oocarpa* e, cerca de 190% para o *Pinus caribaea* var *hondurensis*.

As porcentagens médias de lenho tardio nos corpos de prova do lenho interno entre as idades e espécies foram semelhantes. Para o lenho externo, as porcentagens médias de lenho tardio apresentaram-se cerca de 38% maiores para árvores de 18 anos de *Pinus oocarpa* comparadas às de 14 anos e, de 46% para as árvores de 20 anos de *Pinus caribaea* var *hondurensis*, comparadas às de 14 anos.

TABELA 8 - PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO EM CORPOS DE PROVA DE LENHO INTERNO E LENHO EXTERNO DE *Pinus oocarpa* (14 e 18 anos) E DE *Pinus caribea* var *hondurensis* (14 e 20 anos), ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m .

ESPÉCIE/IDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	% LENHO TARDIO	CV%
<i>Pinus oocarpa</i> - 14 anos	INTERNO	8,1	26,3
	EXTERNO	20,3	27,0
<i>Pinus oocarpa</i> - 18 anos	INTERNO	8,8	44,2
	EXTERNO	28,0	22,8
<i>Pinus caribea</i> var <i>hondurensis</i> - 14 anos	INTERNO	8,0	24,9
	EXTERNO	21,8	32,9
<i>Pinus caribea</i> var <i>hondurensis</i> - 20 anos	INTERNO	11,1	33,9
	EXTERNO	31,9	30,1

Observou-se nas árvores das duas espécies que, nos primeiros anéis de crescimento a contar da medula, o lenho tardio não é bem desenvolvido e freqüentemente difícil de ser distinguido a olho nũ, ou mesmo sob exame com lupa ou microscópio, devido as células de lenho tardio não apresentarem ainda espessamento marcante das paredes. Observou-se somente a partir do 3º ou 4º anel de crescimento o padrão característico de lenho tardio nas duas espécies.

Observação semelhante é descrita por BAMBER & BURLEY⁴ para *Pinus radiata*.

Os resultados médios obtidos nas determinações da porcentagem de lenho tardio, em corpos de prova dos lenhos interno e externo apresentaram-se conforme o esperado para árvores

de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus*, nas quais os primeiros anéis a partir da medula são bastante largos e a faixa de lenho tardio estreita.

Para as duas espécies estudadas, por exemplo, os corpos de prova (secção transversal de 5x5 cm) do lenho interno apresentaram três anéis de crescimento em média, o que indica a maior largura dos anéis centrais, já para o lenho externo a média do número de anéis subiu para sete, o que contribuiu significativamente para o aumento da porcentagem de lenho tardio e, conseqüentemente da massa específica.

Segundo BROWN et alii,¹² o aumento da massa específica com a maior proporção de lenho tardio acontece, por este conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume que o lenho inicial.

A tabela 9 mostra a relação entre a massa específica aparente básica e a porcentagem de lenho tardio, através de equações de regressão linear simples, para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis* nas duas idades, combinando os lenhos interno e externo e as idades.

As análises das equações de regressão linear ($Y = a + bX$), revelaram alta correlação entre a massa específica aparente básica (r) e a porcentagem de lenho tardio (LT). A correlação é menor para as idades de 14 anos, especialmente, para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, possivelmente devido aos corpos de prova do lenho interno apresentarem a massa específica influenciada pelo conteúdo de extrativos, que normalmente é maior na porção central do tronco.

Os erros padrões de estimativa (S_{xy}) para todas as equações foram bastante baixos e semelhantes entre si, indicando boa

TABELA 9 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE

MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (peso seco/volume verde) E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADOS EM CORPOS DE PROVA DE LENHOS INTERNO E EXTERNO ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m DE *Pinus oocarpa* E *Pinus caribaea* var *hondurensis*

ESPÉCIE/IDADE	EQUAÇÃO ($Y = b_1 + b_0 x$)	R^2	R	F_{cal}	Sxy (%)
<i>Pinus oocarpa</i> - 14 anos	$r = 0,321 + 0,007 LT$	0,70	0,84	110,1	7,3
<i>Pinus oocarpa</i> - 18 anos	$r = 0,338 + 0,006 LT$	0,76	0,87	209,6	8,7
<i>Pinus oocarpa</i> - 14-18 anos	$r = 0,333 + 0,006 LT$	0,75	0,86	287,9	8,8
<i>Pinus caribaea</i> var					
<i>hondurensis</i> - 14 anos	$r = 0,317 + 0,005 LT$	0,52	0,72	57,9	9,6
<i>Pinus caribaea</i> var					
<i>hondurensis</i> - 20 anos	$r = 0,326 + 0,005 LT$	0,83	0,91	344,7	7,2
<i>Pinus caribaea</i> var					
<i>hondurensis</i> - 14-20 anos	$r = 0,313 + 0,006 LT$	0,78	0,88	340,1	8,5

r = massa específica aparente básica (massa seca/volume verde) (g/cm^3)

LT = porcentagem de lenho tardio (%)

R^2 = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de teste calculado por análise de variância

Sxy = erro padrão da estimativa (%) (precisão da equação).

precisão na estimativa da massa específica básica a partir da porcentagem de lenho tardio.

A correlação significativa entre a massa específica e porcentagem de lenho tardio para espécies do gênero *Pinus* é re-

conhecida por vários pesquisadores, como por exemplo, BROWN et alii,¹² KNIGGE & SCHULZ,⁴⁶ entre outros.

A figura 11, ilustra a relação entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio de corpos de prova de lenhos interno e externo de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, combinados os dois tipos de lenho e as idades.

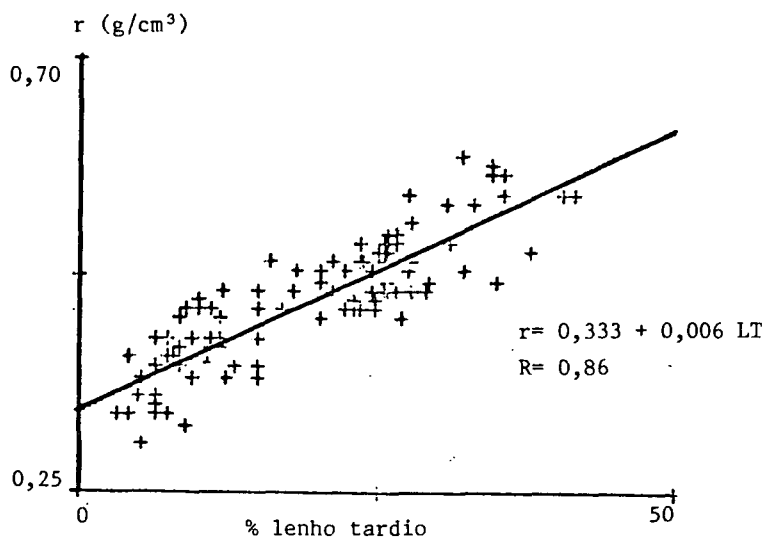
4.2 RETRATIBILIDADE

Os resultados obtidos nas determinações da contração volumétrica máxima, contrações lineares máximas, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade tangencial e radial em corpos de prova dos lenhos interno e externo de *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos e, de *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 14 e 20 anos, são apresentados na tabela 10.

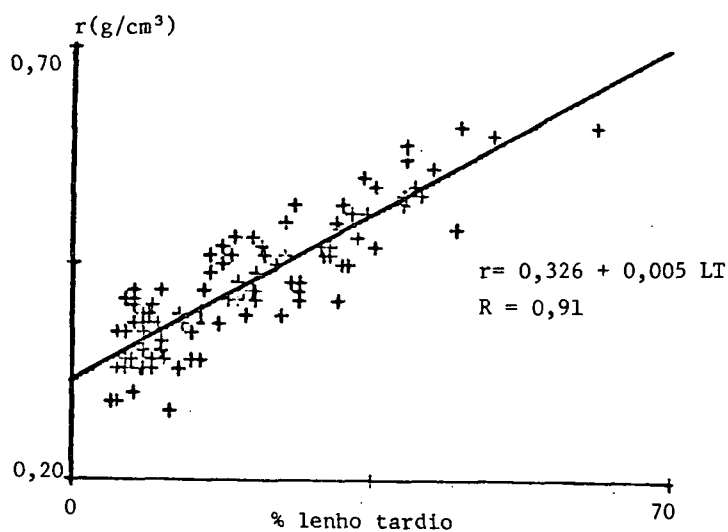
A tabela 11 apresenta o resumo de análises de variância da contração volumétrica máxima e massa específica aparente a 12% de umidade dos lenhos interno e externo das duas espécies e idades estudadas.

De acordo com os resultados obtidos, de modo geral observa-se que as médias das contrações volumétricas máximas e lineares e coeficientes de retratibilidade foram menores para o lenho interno, comparados aos valores obtidos para o lenho externo. Esta tendência está em concordância com citações de pesquisadores como BENDTSEN⁶ e KOCH⁴⁷ que dizem ser menores as contrações do lenho da porção interna das árvores de espécies do gênero *Pinus*, o que ocorre devido às diferenças anatômicas entre o lenho juvenil e adulto que, por consequência influencia a massa específica e as propriedades físicas e de resistência.

FIGURA 11 - RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (MASSA SECA / VOLUME VERDE) E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DE CORPOS DE PROVA DE LENHOS INTERNO E EXTERNO (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m), de *Pinus oocarpa* E *Pinus caribaea* var *hondurensis* (COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, E IDADES)



Pinus oocarpa (14-18 anos)



Pinus caribaea var *hondurensis* (14-20 anos)

r = massa específica básica (g/cm³)

LT = porcentagem de lenho tardio (%)

R = coeficiente de correlação

TABELA 10 - CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICAS E LINEARES, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DE *PINUS OCCARPA* (14 e 18 anos) E *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS* (14 e 20 anos), (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m)

ESPÉCIE/IDADE POSIÇÃO NA ÁRVORE	CONTRAÇÕES			ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO T/R	COEFICIENTES RETRATIBILIDA- DE		M.E.A. (12% u) r 12
	V	T	R		CRT	CRR	
<i>Pinus oocarpa</i> - 14 anos							
INTERNO	8,61	5,69	2,72	2,10	22,02	11,27	0,46
CV%	14,7	20,7	18,6	18,8	19,4	22,7	8,2
EXTERNO	11,66	7,79	4,09	1,95	31,59	17,79	0,59
CV%	13,2	12,7	20,5	16,4	13,2	20,1	11,1
<i>Pinus oocarpa</i> - 18 anos							
INTERNO	9,53	6,57	2,96	2,26	26,19	13,07	0,47
CV%	9,4	9,8	16,4	14,7	8,3	13,2	10,2
EXTERNO	11,98	7,76	4,39	1,82	33,09	19,81	0,61
CV%	7,1	5,9	16,3	15,2	6,3	17,3	9,6
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> - 14 anos							
INTERNO	8,09	5,36	2,50	2,16	22,24	11,00	0,40
CV%	13,0	18,1	13,7	16,1	16,8	18,2	8,9
EXTERNO	11,76	7,7	4,19	1,90	31,07	18,01	0,56
CV%	14,9	14,0	22,0	16,9	11,7	22,0	12,4
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> - 20 anos							
INTERNO	10,61	7,56	3,01	2,61	27,84	12,37	0,47
CV%	12,6	12,6	21,9	20,4	12,8	21,7	11,7
EXTERNO	13,53	8,63	5,00	1,84	34,05	20,40	0,64
CV%	10,1	7,7	24,2	23,9	7,3	23,7	14,4

V = contração volumétrica máxima (%)

T = contração tangencial máxima (%)

R = contração radial máxima (%)

T/R = anisotropia de contração

CRT = coeficiente de retratibilidade tangencial

CRR = coeficiente de retratibilidade radial

r_{12} = massa específica a 12% de umidade

TABELA 11 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE PARA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*

ESPÉCIE/IDADE	TIPO DE LENHO	SIGNIFICÂNCIA	
		V	r ₁₂
<i>Pinus oocarpa</i> 14/18 anos	Interno	**	n.s
	Externo	n.s	n.s
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>			
14/20 anos	Interno	**	*
	Externos	**	*
<i>Pinus oocarpa</i> 14/18 anos			
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> 14/20 anos	Interno	**	**
	Externo	**	**

V = Contração Volumétrica máxima

R₁₂ = massa específica aparente a 12% de umidade

** significativo ao nível de 99% de probabilidade

* significativo ao nível de 95% de probabilidade

n.s. não significativo

Os resultados médios de contração volumétrica máxima obtidos para os lenhos interno e externo de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, apresentam concordância com os observados por CHOONG et alii¹⁹ e TOMASELLI,⁷³ para espécies do gênero *Pinus*, nas quais o lenho interno ou juvenil apresentou contração volumétrica menor que o lenho externo ou adulto. De forma geral, é comum a contração volumétrica de espécies do gênero *Pinus* apresentar-se entre 11 e 12%, segundo KOCH.⁴⁷

De acordo com o resumo apresentado na Tabela 11, as análises de variância da contração volumétrica do lenho interno, apresentaram diferenças com significância estatística ao nível de 99% de probabilidade entre as idades para as duas espécies e, entre as espécies e idades. Para o lenho externo não houve diferença significativa entre as idades de *Pinus oocarpa*; já entre as idades do *Pinus caribaea* var *hondurensis* e, entre as espécies e idades houve diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

Comparativamente, a massa específica aparente a 12% de umidade dos lenhos interno e externo não apresentou diferença significativa entre as idades do *Pinus oocarpa*. Apresentou diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade entre as idades do *Pinus caribaea* var *hondurensis* e, apresentou diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade entre as espécies e idades.

As diferenças significativas apresentadas pelas médias da contração volumétrica máxima para o lenho interno, possivelmente são devidas a presença de cerne e o conteúdo de extrativos que afetam a massa específica e também a contração.

A Tabela 12 apresenta o resumo da correlação entre a contração volumétrica máxima e a massa específica (massa seca por volume verde) por regressão linear simples ($Y = a + bX$), para os lenhos interno e externo, e a combinação destes para as duas espécies e idades estudadas.

De acordo com os resultados apresentados pelas regressões lineares realizadas entre a contração volumétrica máxima e massa específica, observa-se a existência de alta correlação entre ambas. Porém, para o lenho interno das árvores de 14 anos das duas espécies não foi encontrada correlação significativa.

Resultado semelhante foi observado por CHOONG et alii,¹⁹

TABELA 12 - RESUMO DA CORRELAÇÃO ENTRE A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA (MASSA SECA / VOLUME VERDE) POR REGRESSÃO LINEAR SIMPLES, PARA LENHO INTERNO E EXTERNO, E COMBINAÇÃO DESTES, PARA *PINUS OCCARPA* (14 e 18 ANOS) E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* (14 e 20 ANOS)

ESPÉCIE/IDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	F _{cal}	SIGNIFICÂNCIA	R ²	R
<i>Pinus oocarpa</i> - 14 anos	INTERNO	2,2	n.s.	0,062	0,249
	EXTERNO	20,3	* *	0,367	0,606
	COMBINADO	129,3	* *	0,647	0,804
<i>Pinus oocarpa</i> - 18 anos	INTERNO	26,4	* *	0,641	0,801
	EXTERNO	59,0	* *	0,608	0,780
	COMBINADO	339,9	* *	0,811	0,901
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> - 14 anos	INTERNO	0,1	n.s.	0,001	0,032
	EXTERNO	94,5	* *	0,713	0,844
	COMBINADO	239,6	* *	0,750	0,866
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> - 20 anos	INTERNO	94,5	* *	0,725	0,851
	EXTERNO	84,6	* *	0,696	0,834
	COMBINADO	391,4	* *	0,839	0,916

R² = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de teste de hipóteses calculado pela análise de variância.

para a relação entre contração volumétrica e massa específica de lenho interno de *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*. O resultado foi atribuído à formação de cerne e, ao alto conteúdo de extrativos na porção central do tronco, que não apenas elevam o valor da massa específica, como inibem a contração, por ocuparem a região amorfa na celulose constituinte da parede celular. A relação entre as duas variáveis aumentou significativamente para os lenhos intermediário e externo.

A tabela 13 apresenta as equações de regressão linear ($Y = a + b X$) para as duas espécies e idades estudadas, combina-

dos os lenhos interno e externo.

TABELA 13 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES AJUSTADAS PARA A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E MASSA ESPECÍFICA (MASSA SECA/VOLUME VERDE) PARA A COMBINAÇÃO LENHO INTERNO E EXTERNO PARA *PINUS OOCARPA* (14 e 18 anos) E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* (14 e 20 anos)

ESPÉCIE/IDADE	EQUAÇÃO AJUSTADA	F	R ²	R	S x y (%)
<i>Pinus oocarpa</i> - 14 anos	$V = 0,283 + 23,057 r$	129,3	0,649	0,804	10,2
<i>Pinus oocarpa</i> - 18 anos	$V = 2,438 + 18,418 r$	333,9	0,811	0,901	6,1
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> - 14 anos	$V = 0,606 + 26,536 r$	239,6	0,750	0,866	11,6
<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> - 20 anos	$V = 2,707 + 20,639 r$	391,4	0,839	0,916	6,6

V= contração máxima volumétrica em %

r = massa específica básica (massa seca /volume verde) em g/cm³

Como se observa, especialmente para as equações de regressão para as árvores de maior idade, combinados o lenho interno e externo, os erros padrões de estimativa são baixos, indicando que a precisão das equações, pode ser considerada bastante aceitável na estimativa da contração volumétrica máxima, a partir da massa específica aparente básica.

Da mesma forma, pode-se atribuir a inexistência de correlação para o lenho interno das árvores de 14 anos à influência da formação de cerne e ao conteúdo de extrativos, devido os corpos de prova para estas árvores terem sido confeccionados de lenho muito próximo à medula. Grande parte dos mesmos continham porções de lenho com formação inicial de cerne.

Para as árvores de idade maior, que apresentaram maiores diâmetros, foram confeccionados maior número de corpos de prova, o que permitiu descartar aqueles que continham formação de cerne e de depósitos de resina visíveis, diminuindo-se a influência destes na retratibilidade. Assim, para o lenho interno destas árvores a contração volumétrica e a massa específica foram menos influenciadas por extrativos, ocorrendo correlações entre ambas bastante altas.

As altas correlações observadas para o lenho externo das duas espécies e idades eram esperadas, visto que na porção exterior do tronco o conteúdo de extrativos é menor e mais homogeneamente distribuído em condições normais de crescimento. Com exceção do lenho externo de *Pinus oocarpa* de 14 anos, para o qual o coeficiente de correlação (R) foi de 0,61, as outras idades das duas espécies mostraram alta correlação, (R superiores a 0,80), indicando a alta influência da massa específica na contração volumétrica.

Quando os dois tipos de lenho foram combinados, observou-se que para as árvores de 14 anos as correlações aumentaram significativamente sendo porém inferiores às observadas para a combinação dos lenhos das árvores de maior idade.

A figura 12, ilustra graficamente a relação entre a contração volumétrica e massa específica, quando combinados os lenhos interno e externo para as duas espécies e idades estudadas.

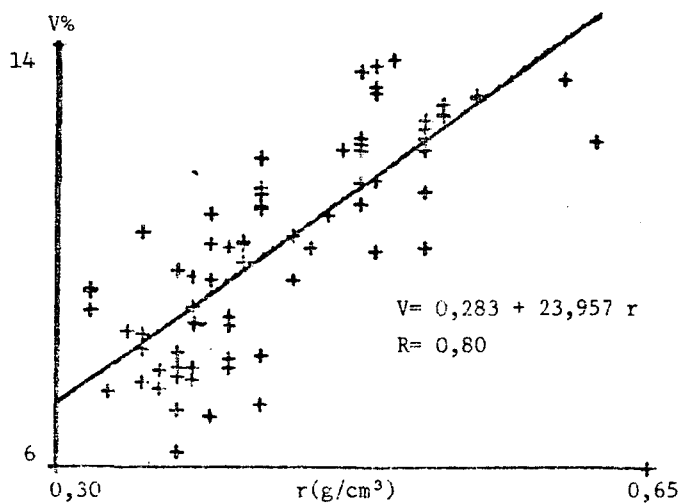
As contrações lineares, bem como os coeficientes da retratibilidade apresentaram a mesma tendência da contração volumétrica, apresentando valores médios superiores para o lenho externo e aumentando com o aumento da massa específica, o con-

FIGURA 12 - RELAÇÃO ENTRE A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA E A MASSA ESPECÍFICA PARA *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, COMBINADOS OS LENHOS INTERNO E EXTERNO

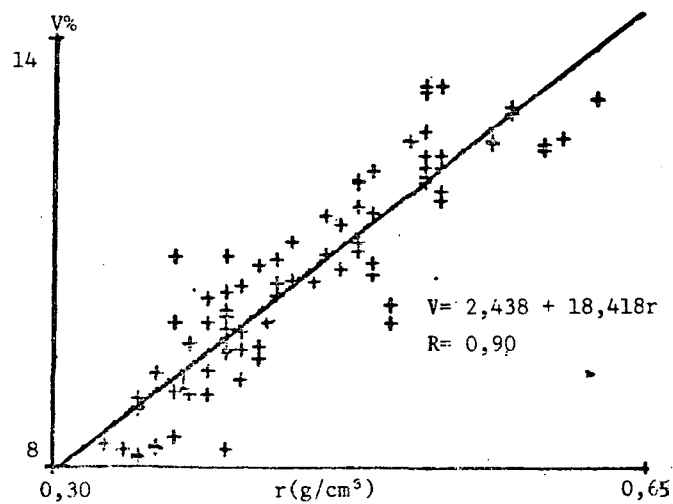
V = contração volumétrica máxima (%)

r = massa específica aparente básica (g/cm³)

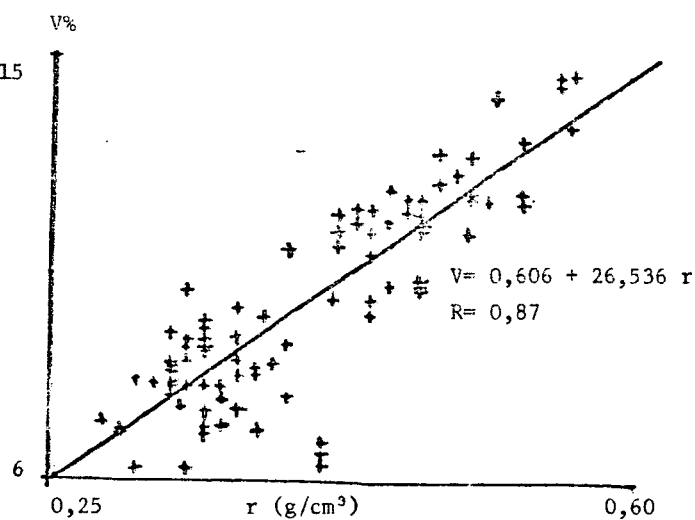
R = coeficiente de correlação



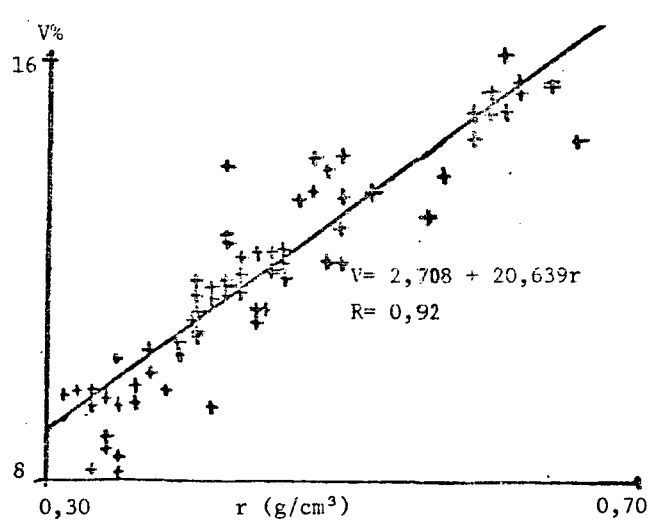
Pinus oocarpa - 14 anos



Pinus oocarpa - 18 anos



Pinus caribaea var *hondurensis* - 14 anos



Pinus caribaea var *hondurensis* - 20 anos

trário aconteceu com a anisotropia de contração que apresentou decréscimo com o aumento da massa específica, indicando diminuição da contração tangencial em relação a contração radial com o aumento da massa específica.

4.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES

As características morfológicas dos traqueóides determinadas para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis* são apresentadas nas tabelas 14 e 15, respectivamente.

TABELA 14 -- CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE *PINUS OOCARPA* DE 18 ANOS A ALTURA DO DAP (Média de 10 árvores).

CARACTERÍSTICA	ANEL 2*	TIPO DE LENHO	ANÉIS DE CRESCIMENTO				
			5	8	11	14	17
COMPRIMENTO (mm)	1.980	Inicial	3,341	3,858	4,034	4,244	4,432
CV%	15,6		6,0	6,1	5,0	9,8	9,2
		Tardio	3,456	3,871	4,229	4,288	4,501
			5,6	3,3	6,3	3,3	9,5
DIÂMETRO DO LUME	38,64	Inicial	51,44	52,60	53,11	53,20	53,29
(μ m)	8,9		3,9	3,8	2,8	1,7	7,8
CV%		Tardio	21,30	21,91	22,29	23,60	23,65
			1,3	4,6	2,2	3,8	1,4
ESPESSURA DA	3,53	Inicial	4,72	4,83	4,96	5,05	5,06
PAREDE (μ m)	9,3		3,3	10,1	11,9	11,6	8,3
CV%		Tardio	9,26	9,41	9,54	9,67	9,84
			2,9	6,0	5,7	7,7	10,9

* Para o 2º anel de crescimento, a média apresentada é total, devido a dificuldade em distinguir lenho inicial de lenho tardio.

De acordo com os resultados médios obtidos para as duas espécies, observa-se que os traqueóides aumentam em comprimento dos anéis de crescimento próximos à medula para os mais externos, sendo que os maiores aumentos ocorrem do 2º ao 8º anel, havendo uma diminuição gradativa no aumento para os anéis subsequentes. Esta tendência apresentada pelas duas espécies está em concordância com o padrão estabelecido por SANIO,⁶⁴ em seu experimento clássico, confirmado por vários pesquisadores, onde afirma que a taxa de incremento no comprimento dos traqueóides é bastante rápida até os primeiros 10 - 15 anéis, diminuindo gradativamente nos anéis subsequentes. Valores médios apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus*, mostram incrementos no comprimento que variam de 1,2 - 2,5 mm a 3,5 - 4,2 mm, do 1º ao 10º anel de crescimento, COWN,²² BISSET et alii.⁹

A variação no comprimento dos traqueóides do 2º anel ao 17º anel para *Pinus oocarpa* e do 2º ao 19º anel para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, concorda com resultados de vários pesquisadores no tocante ao padrão para espécies do gênero *Pinus*, o incremento médio para *Pinus oocarpa* foi cerca de 120% e para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, de 95%, para ambos os lenhos inicial e tardio.

Os traqueóides de lenho tardio para as espécies apresentam comprimento médio ligeiramente superior aos de lenho inicial, embora não havendo significância estatística. Esta tendência foi também observada por COWN²² em *Pinus radiata*.

Comparando-se as médias obtidas para as espécies, observa-se que o comprimento dos traqueóides de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresenta-se em média 0,12-0,32mm mais longos que os do *Pinus oocarpa*, nos anéis medidos, tanto para o lenho inicial como para o tardio.

TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE
PINUS CARIBAEA VAR *HONDURENSIS* DE 20 ANOS, A ALTURA DO
 DAP (média de 10 árvores)

CARACTERÍSTICA	ANEL 2*	TIPO DE LENHO	ANÉIS DE CRESCIMENTO					
			5	8	11	14	17	19
COMPRIMENTO (mm)	2,359	Inicial	3,553	3,997	4,159	4,511	4,587	4,592
CV%	12,2		8,7	9,5	7,2	9,9	11,4	9,4
		Tardio	3,581	4,123	4,546	4,607	4,726	4,721
			9,0	10,7	12,0	12,5	9,6	10,6
DIÂMETRO DO LUME	43,64	Inicial	52,21	54,54	55,38	55,52	56,30	56,36
(μm)	12,1		9,3	7,6	2,7	2,9	4,5	4,7
CV%		Tardio	21,56	21,46	21,65	21,88	22,33	23,04
			3,7	6,2	6,0	2,2	6,3	8,7
ESPESSURA DA PAREDE	3,77	Inicial	4,60	4,67	4,88	5,06	4,82	5,11
(μm)	9,0		3,3	11,9	9,2	6,3	8,6	7,0
CV%		Tardio	9,41	9,82	9,97	9,98	10,13	10,18
			3,9	9,9	11,6	6,5	5,2	4,8

* Para o 2º anel de crescimento, a média apresentada é total, devido a dificuldade em distinguir lenho inicial do tardio.

Os diâmetros médios dos lumes e a espessura média das paredes celulares dos traqueóides de lenho inicial e tardio das espécies apresentaram um aumento com a idade, que é mais acentuado nos primeiros anéis. Observou-se, entretanto, valor médio menor ($4,82 \mu\text{m}$) para a espessura da parede de lenho inicial no 17º anel do *Pinus caribaea* var *hondurensis*, diferenciando-se da tendência crescente apresentada. Por apresentar menor média isoladamente quando comparado às outras características medidas no 17º anel, o valor médio menor encontrado pode ser decorrente da amostragem.

Em geral, esta tendência se faz notar para coníferas, segundo COWN,²² BAMBER & BURLEY,⁴ entre outros.

Os diâmetros dos lumes são semelhantes para as duas espécies, os de lenho inicial ligeiramente superiores em *Pinus*

caribaea var. *hondurensis*, e os de lenho tardio ligeiramente superiores em *Pinus oocarpa*.

Também a espessura da parede dos traqueóides são semelhantes para as duas espécies, as de lenho inicial ligeiramente superiores em *Pinus oocarpa*, e as de lenho tardio ligeiramente superiores em *Pinus caribaea* var *hondurensis*.

Os valores médios encontrados para as características morfológicas dos traqueóides de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, de maneira geral, tanto para o comprimento, como para o diâmetro do lume e espessura da parede, estão em concordância com valores apresentados para estas características, por vários pesquisadores, para espécies do gênero *Pinus*, citados por KOCH.⁴⁷

As figuras 13 e 14, ilustram graficamente as características morfológicas dos traqueóides das duas espécies, em relação aos anéis de crescimento, da medula para a casca, ao nível do DAP.

4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.4.1 Resistência à flexão estática

Os resultados obtidos dos ensaios mecânicos de flexão estática dos lenhos interno e externo de *Pinus oocarpa* nas condições verde e seca a 15% de umidade, são apresentados nas formas de módulo de ruptura (MR), tensão no limite proporcional (TLP) e módulo de elasticidade (ME), juntamente com a massa específica e porcentagem de lenho tardio, determinados nos respectivos corpos de prova, nas tabelas 16 e 17.

Os resultados de resistência à flexão estática obtidos para as duas espécies e idades, nos estados verde e seco a 15%

FIGURA 13 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES EM ANÉIS DE CRESCIMENTO A ALTURA DO DAP DE *PINUS OCCARPA* DE 18 ANOS (Média para 10 árvores)

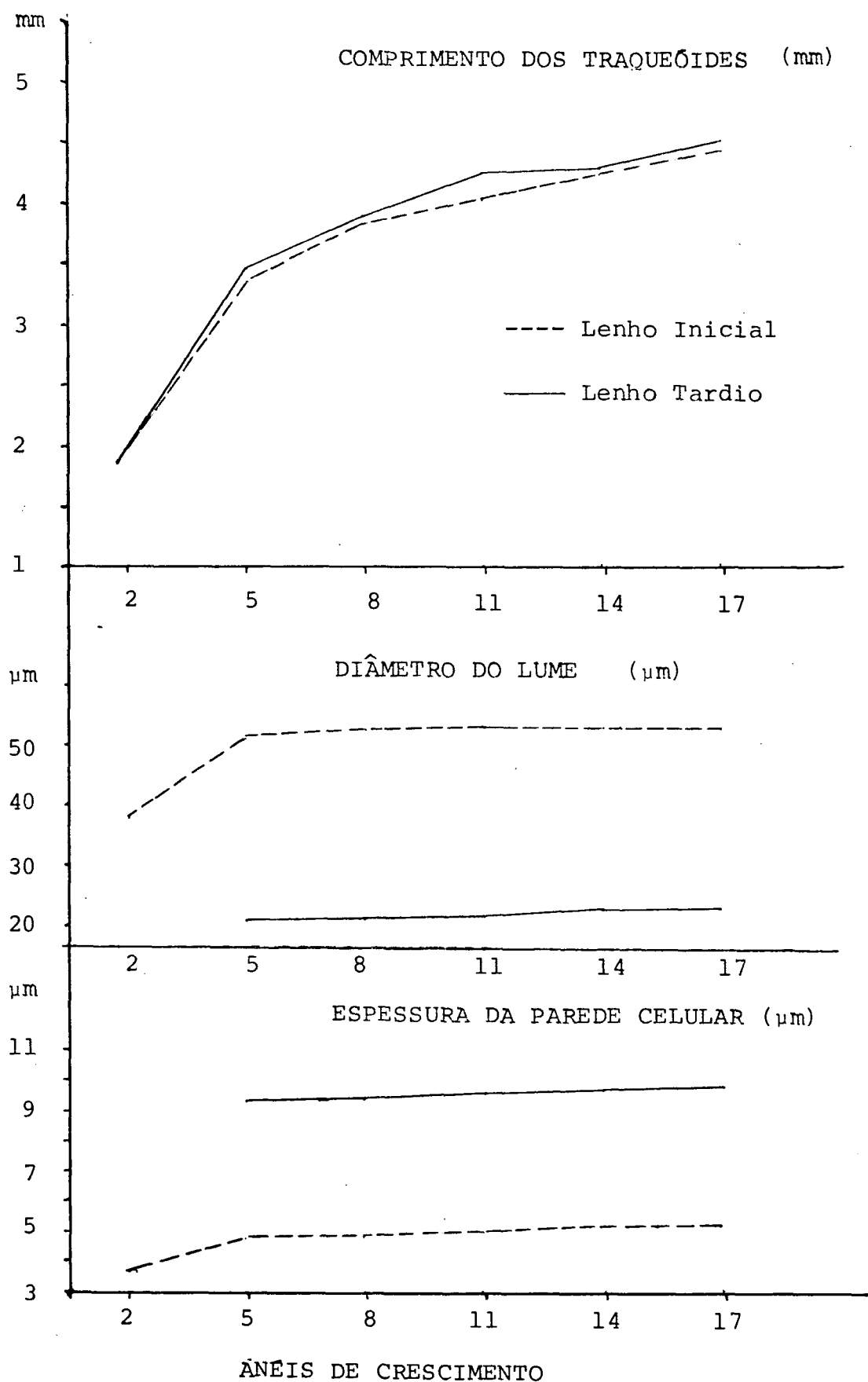


FIGURA 14 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES EM ANÉIS DE CRESCIMENTO A ALTURA DO DAP DE *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* DE 20 ANOS (Média para 10 árvores)

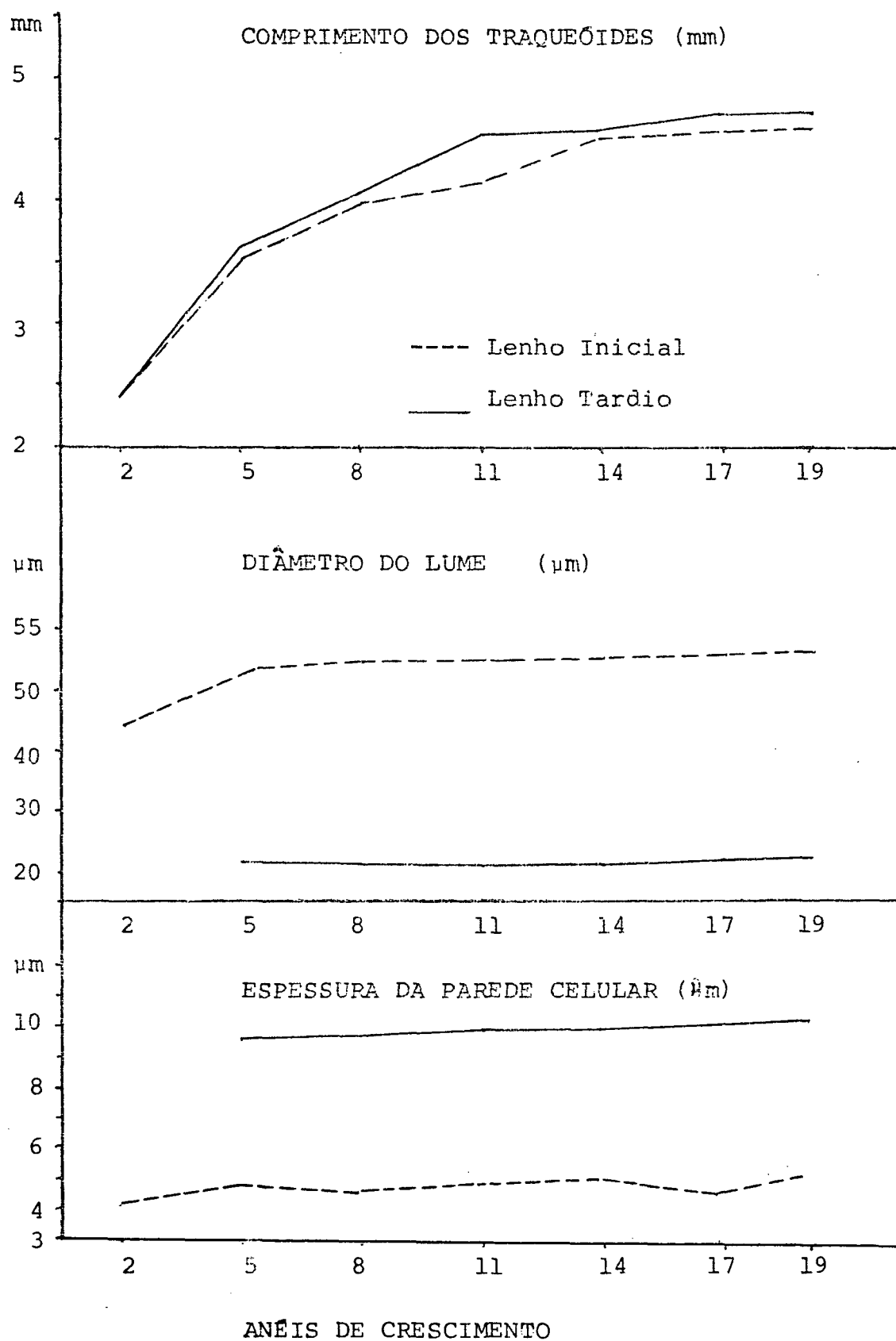


TABELA 16 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE FLEXÃO ESTATICA
DA MADEIRA DE *PINUS OOCARPA* E *PINUS CARIBAEA VAR HONDURENSIS*
NO ESTADO VERDE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)

PROPRIEDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	<i>Pinus oocarpa</i>		<i>Pinus caribaea var hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
MÓDULO DE RUPTURA	INTERNO	332,4 ab	354,0 a	275,6 b	338,5 ab
MR (kgf/cm ²)		12,5	17,3	17,9	12,0
CV%	EXTERNO	511,4 cd	589,9 c	459,6 d	586,8 c
		15,5	11,5	15,9	12,2
TENSÃO NO LIMITE	INTERNO	226,1 ab	241,5 a	187,2 b	227,9 ab
PROPORCIONAL		11,6	14,4	13,1	13,4
TPL (kgf/cm ²)					
CV%	EXTERNO	350,2 c	384,8 c	274,7 d	364,1 c
		13,5	13,3	16,1	13,8
MÓDULO DE ELASTI-					
CIDADE	INTERNO	45.663 b	64.358 a	42.872 b	60.820 a
ME (kgf/cm ²)		19,1	18,3	18,7	17,3
CV%	EXTERNO	95.441 d	117.430 c	87.292 d	118.041 c
		15,8	16,4	12,5	15,0
MASSA ESPECÍFICA	INTERNO	0,350 a	0,388 a	0,349 a	0,377 a
(Po/Vu)(g/cm ³)		10,5	11,9	13,5	10,0
CV%	EXTERNO	0,470 cd	0,498 cd	0,429 d	0,501 c
		10,8	8,8	11,5	10,3
PORCENTAGEM DE	INTERNO	7,3 a	9,3 a	8,0 a	11,1 a
LENHO TARDIO (%)		35,0	47,3	24,9	36,0
CV%	EXTERNO	22,5 d	28,9 cd	25,0 d	33,9 c
		22,3	20,9	30,3	27,8

* As médias seguidas pela mesma letra para lenho interno e externo, não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 17 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE FLEXÃO ESTATICA
DA MADEIRA DE *PINUS OCCARPA* E *PINUS CARITAEAE* VAR *HONDUREN-*
SIS NO ESTADO SECO A 15% DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO
(ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m)

PROPRIEDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	<i>Pinus occarpa</i>		<i>Pinus caritaeae</i> var <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
MÓDULO DE RUPTURA	INTERNO	510,9 ab	544,8 a	435,3 b	537,9 a
MR (kgf/cm ²)		20,3	23,6	19,5	25,1
CV%	EXTERNO	729,8 d	835,6 c	727,7 d	919,4 c
		13,8	7,8	13,6	12,6
TENSÃO NO LIMITE	INTERNO	342,2 a	369,9 a	275,2 b	341,6 a
PROPORCIONAL		18,9	15,7	18,3	26,5
TLP (kgf/cm ²)	EXTERNO	489,6 e	583,2 cd	521,9 d e	601,0 c
CV%		15,0	8,4	10,4	11,7
MÓDULO DE ELASTICI-					
DADE	INTERNO	51.203 b	74.786 a	55.624 b	75.919 a
ME (kgf/cm ²)		22,2	21,6	20,3	26,2
	EXTERNO	99.799 d	129.743 c	108.206 d	145.196 c
CV%		13,3	7,9	13,7	14,5
MASSA ESPECÍFICA	INTERNO	0,396 a	0,410 a	0,388 a	0,427 a
(Po/Vu) (g/cm ³)		13,1	11,1	15,0	7,7
CV%	EXTERNO	0,468 d	0,506 c d	0,457 d	0,556 c
		6,3	8,6	8,5	11,4
PORCENIAGEM DE	INTERNO	8,1 a	9,6 a	7,9 a	12,2 a
LENHO TARDIO (%)		33,0	44,1	22,9	35,0
	EXTERNO	23,0 d	29,3 c d	24,9 d	33,8 c
CV%		20,9	22,1	31,4	29,2

* As médias seguidas pela mesma letra para lenho interno e externo, não diferem estatística-
mente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

de umidade, mostram que a secagem elevou os valores médios de resistência dos módulos de ruptura (MR) e tensão no limite proporcional (TPL) na faixa de 40 a 70%, e dos módulos de elasticidade (ME) na faixa de 5 a 30%.

A tabela 18, apresenta as diferenças percentuais observadas entre os valores médios de resistência à flexão estática, para módulos de ruptura (MR) e de elasticidade (ME), nas condições verde e 15% de umidade, para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades.

TABELA 18 - DIFERENÇAS PORCENTUAIS ENTRE OS VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE PARA AS DUAS ESPÉCIES E IDADES

PROPRIEDADE	TIPO DE LENHO	<i>Pinus oocarpa</i>		<i>Pinus caribæa</i> var <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
Módulo de Ruptura					
(MR)	Interno	54	54	58	59
	Externo	43	42	58	57
Módulo de					
Elasticidade (ME)	Interno	12	16	30	25
	Externo	5	10	24	23

Observa-se que as diferenças percentuais para o módulo de ruptura são superiores às observadas para o módulo de elasticidade. Esta tendência está em concordância com a afirmação de LAVERS,⁵² que expressa serem os resultados de resistência máxima mais afetados pelo conteúdo de umidade que os de módulo de elasticidade.

Observa-se ainda, que o lenho interno das duas idades de *Pinus oocarpa* são mais influenciados pelo conteúdo de umidade que o lenho externo, tanto para o módulo de ruptura como para o de elasticidade. As alterações entre os lenhos interno e externo das duas idades de *Pinus caribaea* var *hondurensis* apresentaram comportamento semelhante para o módulo de ruptura; já para o módulo de elasticidade, o lenho interno pareceu sofrer influência ligeiramente maior que o lenho externo.

Os valores médios de resistência, obtidos para as duas espécies e idades, nas duas condições de umidade da madeira, mostram que o lenho externo apresenta-se sensivelmente mais resistente que o lenho interno. A mesma tendência é apresentada pela massa específica e porcentagem de lenho tardio, indicando que o aumento da resistência da madeira está relacionado com o aumento destas propriedades, que ocorre com o aumento da idade da madeira.

A tendência dos resultados médios de resistência observados, mostram a desuniformidade das características da madeira no sentido medula-casca para as duas espécies. Segundo vários pesquisadores, entre eles, BENDTSEN,⁶ PEARSON & GILMORE⁶¹ e ZOBEL et alii,⁸¹ as características de lenho juvenil na porção central do tronco para espécies do gênero *Pinus*, são reconhecidamente de menor massa específica, menor porcentagem de lenho tardio e resistências inferiores. Com a formação de anéis de crescimento sucessivos pelo aumento da idade, gradativamente a madeira vai assumindo as características de lenho adulto nas porções externas, na qual, a massa específica e porcentagem de lenho tardio aumentam e, por consequência, as propriedades de resistência são superiores.

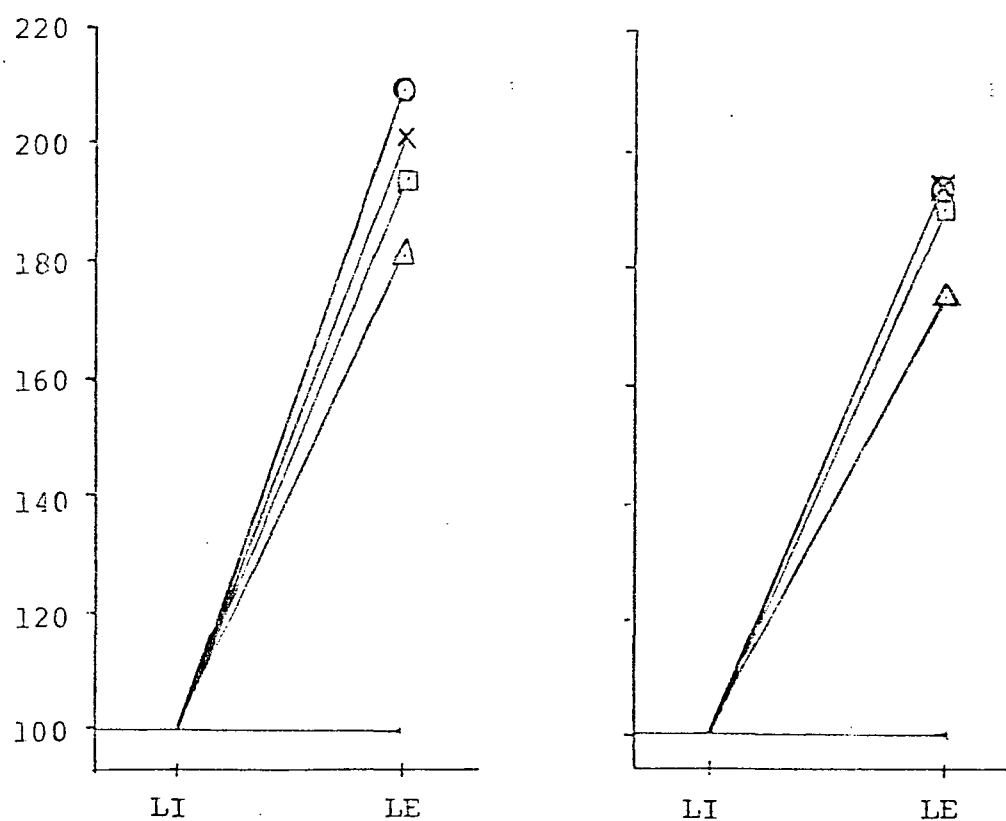
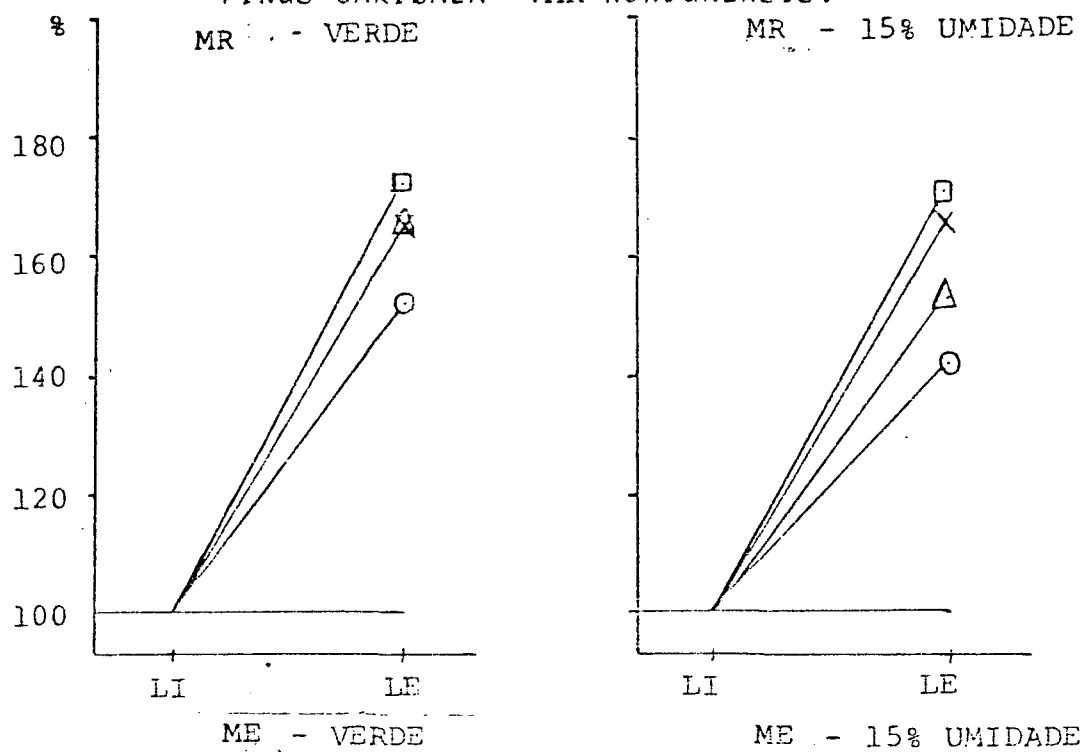
As diferenças observadas para os valores de resistência à flexão estática, do lenho externo em relação ao interno para as duas espécies e idades, nas duas condições de umidade, situam-se de modo geral na faixa de 40 a 100%, sendo que, maiores diferenças foram observadas para *Pinus caribaea* var *hondurensis* e, para árvores de maiores idades. Entre as propriedades, as maiores diferenças entre lenho externo e interno foram observadas para os módulos de elasticidade (ME).

As diferenças entre lenho externo e interno observadas para as duas espécies, apresentam-se na mesma faixa das observadas por PEARSON & GILMORE⁶¹ em árvores de *Pinus taeda* de 25 e 15 anos, provenientes de plantações artificiais, para módulo de ruptura e de elasticidade (42 a 82%), e por TOMASELLI⁷³ em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* de 18 anos, na tora coletada na metade da altura comercial, considerando lenho juvenil e adulto.

A figura 15, ilustra graficamente as diferenças percentuais entre lenhos externo e interno para os módulos de ruptura (MR) e de elasticidade (ME) de flexão estática, para as duas espécies e idades, nas condições verde e seca a 15% de umidade, considerando-se o valor médio do lenho interno como 100%.

Pela comparação entre as médias de resistência à flexão estática, determinadas para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades, com a aplicação do Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade, observa-se que: para *Pinus oocarpa*, as médias dos lenhos interno e externo entre as duas idades, mostram-se estatisticamente semelhantes para os módulos de ruptura (MR) e tensão no limite proporcional (TLP), nos estados verde e seco, com exceção do lenho externo no estado seco para ambas propriedades. Os módulos de elasticidade (ME) do lenho

FIGURA 15 - DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM ENTRE LENHOS INTERNO E EXTERNO PARA MÓDULO DE RUPTURA (MR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA PARA *PINUS OOCARPA* E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS*.



LI = LENHO INTERNO

LE = LENHO EXTERNO

○ - *Pinus oocarpa* - 14 anos X - *Pinus caribaea* var *hondurensis* - 14 anos

△ - *Pinus oocarpa* - 18 anos □ - *Pinus caribaea* var *hondurensis* - 20 anos

interno e externo entre as idades apresentam diferença estatística nos estados verde e seco.

Para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, as médias das propriedades de resistência à flexão estática do lenho interno e externo entre as árvores de 14 e 20 anos, apresentam diferenças estatísticas entre si nos estados verde e seco, com exceção do módulo de ruptura e tensão no limite proporcional do lenho interno, no estado verde.

Entre as duas espécies e idades os valores médios de resistência à flexão estática dos lenhos interno e externo nas condições verde e seca a 15% de umidade, não apresentam diferenças estatísticas entre as idades de 14 anos, com exceção da tensão no limite proporcional do lenho externo no estado verde e do lenho interno no estado seco. Entre as idades maiores (18 e 20 anos), da mesma forma, não apresentam diferenças estatísticas, a 95% de probabilidade.

Observa-se que, a comparação dos valores médios de resistência a flexão estática entre idades, para as espécies, de maneira geral, acompanham a tendência apresentada pelos valores médios da massa específica e porcentagem de lenho tardio, determinados nos respectivos corpos de prova. Exceções são observadas tanto para lenho interno como externo. Estas exceções, podem estar relacionadas às diferenças observadas nas correlações existentes entre o módulo de ruptura e massa específica e, módulo de elasticidade e massa específica, conforme resultados apresentados para as duas espécies, nas tabelas 19 e 20. Nas árvores de 14 anos e no lenho interno, os módulos de ruptura e de elasticidade apresentaram-se menos correlacionados com a massa específica, em relação às árvores de maiores idades e ao lenho

externo.

Verifica-se ainda que, apesar de não se observar diferenças estatísticas entre as massas específicas do lenho interno das espécies e idades, bem como, do lenho externo das duas idades para *Pinus oocarpa*, as árvores de menor idade apresentam valores médios menores para a massa específica, o que também deve ter contribuído para provocar as diferenças observadas entre as propriedades, visto que, de maneira geral espera-se resistência menor para menor massa específica.

As tabelas 19 e 20, apresentam o resumo das correlações obtidas através de regressão linear, entre módulos de ruptura e de elasticidade de flexão estática com a massa específica, determinada nos respectivos corpos de prova de lenhos interno e externo, nos estados verde e seco a 15% de umidade, para as duas espécies e idades.

Observa-se que, para as duas espécies, os coeficientes de correlação encontrados para as relações lineares entre módulo de ruptura e massa específica e, entre módulo de elasticidade e massa específica, apresentam de maneira geral, a mesma tendência.

As relações lineares entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica, são mais significativas no estado seco a 15% de umidade em relação ao verde e, para o lenho externo em relação ao interno.

O módulo de ruptura apresentou-se mais correlacionado com a massa específica, que o módulo de elasticidade.

Para *Pinus oocarpa*, a relação entre módulo de ruptura e massa específica, apresentou coeficientes de correlação (R) entre 0,57 e 0,78 para lenho interno e, entre 0,77 e 0,85 para o

TABELA 19 - RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE MÓDULOS DE RUPTURA (MR), MÓDULOS DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA, COM A MASSA ESPECÍFICA, PARA OS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE *Pinus oocarpa* DE 14 E 18 ANOS ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

RELAÇÃO	IDADE	TIPO DE LENHO	COEFICIENTES			CONDIÇÃO
			R ²	R	F _{cal}	
MR/r	14	Interno	0,40	0,63	13,8 **	Verde
		Externo	0,62	0,79	28,9 **	
ME/r	14	Interno	0,34	0,58	10,7 **	
		Externo	0,54	0,73	22,8 **	
MR/r	14	Interno	0,44	0,66	15,4 **	Seco a
		Externo	0,65	0,81	29,8 **	
ME/r	14	Interno	0,39	0,62	13,5 **	15% U
		Externo	0,59	0,77	26,3 **	
MR/r	18	Interno	0,32	0,57	8,4 **	Verde
		Externo	0,59	0,77	26,0 **	
ME/r	18	Interno	0,29	0,53	7,8 *	
		Externo	0,54	0,73	23,5 **	
MR/r	18	Interno	0,61	0,78	17,2 **	Seco a
		Externo	0,72	0,85	45,8 **	
ME/r	18	Interno	0,56	0,75	21,3 **	15% U
		Externo	0,65	0,81	29,4 **	

** significativo ao nível de 99% de probabilidade

* significativo ao nível de 95% de probabilidade

MR = módulo de ruptura

ME = módulo de elasticidade

r = massa específica (na condição verde = massa seca/volume verde)

(na condição a 15% U = massa seca/ volume a 15% U)

R² = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de testes de hipóteses calculado.

TABELA 20 - RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA (MR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE FLEXÃO ESTÁTICA, COM A MASSA ESPECÍFICA, PARA O LENHO INTERNO E EXTERNO DE *Pinus caribaea* var *hondurensis* DE 14 E 20 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

RELAÇÃO	IDADE	TIPO DE LENHO	COEFICIENTES			CONDIÇÃO
			R ²	R	F _{cal}	
MR/r	14	Interno	0,41	0,64	15,1 **	Verde
		Externo	0,57	0,75	23,7 **	
ME/r	14	Interno	0,37	0,61	14,7 **	
		Externo	0,54	0,73	19,8 **	
MR/r	14	Interno	0,43	0,66	13,2 **	
		Externo	0,68	0,82	36,5 **	
ME/r	14	Interno	0,41	0,64	13,0 **	15% U
		Externo	0,65	0,81	34,1 **	
MR/r	20	Interno	0,39	0,62	11,8 **	
		Externo	0,55	0,74	21,6 **	
ME/r	20	Interno	0,33	0,57	9,6 **	
		Externo	0,51	0,71	18,4 **	
MR/r	20	Interno	0,58	0,76	23,7 **	
		Externo	0,81	0,90	76,4 **	
ME/r	20	Interno	0,54	0,73	19,9 **	15% U
		Externo	0,76	0,87	55,7 **	

** significativo ao nível de 99% de probabilidade

MR = módulo de ruptura

ME = módulo de elasticidade

r = massa específica (na condição verde= massa seca/ volume verde)
(na condição a 15% U=massa seca/volume a 15% U)

R² = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de teste de hipóteses calculado.

lenho externo. A relação entre o módulo de elasticidade e massa específica, apresentou coeficientes de correlação (R) entre 0,57 e 0,78 para lenho interno e, entre 0,73 e 0,81 para lenho externo.

Para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a mesma tendência foi observada. A relação entre módulo de ruptura e massa específica, apresentou coeficiente de correlação (R) entre 0,62 e 0,76 para o lenho interno e, entre 0,74 a 0,90 para o lenho externo. A relação entre módulo de elasticidade e massa específica, apresentou coeficientes de correlação (R) entre 0,57 a 0,73 para o lenho interno e, entre 0,71 a 0,87 para o lenho externo.

Nota-se que, para o lenho externo, as correlações determinadas para as duas espécies e idades, são superiores às observadas para o lenho interno, o que pode estar relacionado à menor variação observada para os valores médios de resistência à flexão estática do lenho externo, comparado ao lenho interno.

As correlações lineares observadas entre as propriedades de resistência à flexão estática, dos lenhos interno e externo das duas espécies, nos estados verde e seco a 15% de umidade, apresentam a mesma tendência observada por vários pesquisadores que obtiveram boas correlações lineares entre as propriedades de resistência e massa específica. BENDTSEN & ETHINGTON (1972) e MANWILLER (1972) citados por KOCH,⁴⁷ observaram correlação linear positiva entre módulos de ruptura e de elasticidade com massa específica, em cinco espécies do gênero *Pinus*, nos estados verdes e seco a 12% de umidade. Os coeficientes de correlação (R) observados variavam na faixa de 0,72 a 0,87 para a relação linear entre o módulo de ruptura e massa específica e, na faixa de 0,44 a 0,69 para a relação linear entre o módulo de

ruptura e massa específica. PEARSON & GILMORE⁶¹ obtiveram correlações mais estreitas entre módulo de ruptura com massa específica ($R = 0,89$) e entre módulo de elasticidade e massa específica ($R = 0,81$), para a combinação dos resultados obtidos de lenhos interno e externo de *Pinus taeda*.

SIMIONI,⁶⁶ obteve coeficientes de correlação bastante próximos, entre módulos de ruptura e de elasticidade com massa específica a 12% umidade ($R = 0,74$ e $0,73$), para a combinação de porções de lenho interno e externo de *Pinus radiata*.

Os resultados médios de resistência à flexão estática, obtidos para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades, mostram-se de maneira geral, semelhantes a resultados médios observados por vários pesquisadores para espécies do gênero *Pinus*.

Há grande semelhança, por exemplo, entre os resultados obtidos para lenho interno a 15% de umidade, de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis* neste estudo, com os observados por TOMASELLI⁷³ para lenho juvenil de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* de 18 anos a 12% de umidade. O lenho externo, no entanto apresenta valores médios ligeiramente inferiores quando comparado ao lenho adulto da base das árvores, e ligeiramente superiores ao lenho adulto da metade da altura comercial.

Os módulos de ruptura e elasticidade médios dos lenhos interno e externo, apresentados por PEARSON & GILMORE⁶¹ para *Pinus taeda* de 25 e 15 anos, provenientes de plantações de rápido crescimento, a 12% de umidade, mostram-se ligeiramente superiores aos obtidos para as duas espécies estudadas. Neste caso, ressalta-se que a massa específica apresentada era também superior. Observa-se que, quando considerados isoladamente os

valores médios de resistência do lenho externo, obtidos para árvores de maior idade (18 e 20 anos), das duas espécies estudadas, comparados aos valores médios apresentados na literatura para *Pinus oocarpa* e, *Pinus caribaea* proveniente de Honduras, há grande semelhança entre os valores médios de resistência a flexão estática. Por exemplo, os valores médios apresentados para as duas espécies no "Wood Handbook" USDA e por LAVERS,⁵² nos estados verde e a 12% de umidade, apresentam-se ligeiramente superiores em módulo de ruptura e módulo de elasticidade para *Pinus oocarpa* e, ligeiramente superiores em módulo de ruptura, porém muito semelhantes em módulo de elasticidade para *Pinus caribaea*.

A mesma observação pode ser feita em relação aos resultados compilados por vários pesquisadores e apresentados por KOCH,⁴⁷ para outras espécies do gênero *Pinus*.

4.4.2 Resistência à compressão paralela às fibras

Os resultados obtidos dos ensaios mecânicos de compressão paralela às fibras de lenho interno e externo de *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos e, *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 14 e 20 anos, nas condições verde e seco a 15% de umidade, são apresentados nas formas de módulo de ruptura (MR), tensão no limite proporcional (TLP) e módulo de elasticidade (ME), juntamente com a massa específica e porcentagem de lenho tardio, determinados nos respectivos corpos de prova, nas tabelas 21 e 22.

Os resultados de resistência à compressão paralela às fibras obtidos para as duas espécies e idades, nos estados verde e seco a 15% de umidade, mostram que a secagem elevou os valores médios de resistência dos módulos de ruptura (MR) e ten-

TABELA 21 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA DE *PINUS OCCARPA* E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS* NO ESTADO VERDE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m)

PROPRIEDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	<i>Pinus occarpa</i>		<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
MODELO DE RUPTURA	INTERNO	180,9 ab	185,0 a	154,3 b	180,0 ab
MR (kgf/cm ²)		26,7	14,0	21,1	14,9
CV%	EXTERNO	247,0 d	313,1 c	236,1 d	286,4 cd
		6,7	9,5	7,2	12,7
TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL	INTERNO	154,3 ab	162,7 a	131,9 b	157,1 ab
		18,0	15,8	15,0	18,1
TLP (kgf/cm ²)	EXTERNO	229,8 d	285,8 c	213,7 d	266,7 cd
CV%		6,5	9,5	5,8	14,0
MÓDULO DE ELASTICIDADE	INTERNO	49.665 a	53.524 a	38.218 b	53.691 a
ME (kgf/cm ²)		20,8	16,7	28,4	20,8
CV%	EXTERNO	90.545 d	116.333 c	85.455 d	115.114 c
		14,3	14,0	19,2	18,6
MASSA ESPECÍFICA (Po/Vu) (g/cm ³)	INTERNO	0,382 a	0,392 a	0,350 a	0,381 a
		12,0	10,5	14,6	10,5
CV%	EXTERNO	0,454 cd	0,492 cd	0,431 d	0,499 c
		10,1	9,4	11,7	10,7
PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO (%)	INTERNO	7,9 a	9,1 a	8,1 a	10,3 a
		33,5	36,3	24,3	37,9
CV%	EXTERNO	23,1 d	29,2 cd	24,8 d	36,3 c
		22,4	22,1	31,4	25,8

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 22 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA DE *PINUS OOCARPA* E *PINUS CARIBÆA* VAR *HONDURENSIS* NO ESTADO SECO A 15% UMIDADE. (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m)

PROPRIEDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	<i>Pinus oocarpa</i>		<i>Pinus caribæa</i> var <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
MÓDULO DE RUPTURA	INTERNO	304,5 a	310,3 a	241,9 b	284,0 a
MR (kgf/cm ²)		16,3	15,8	15,9	15,2
	EXTERNO	404,4 d	470,7 c	360,4 d	477,1 c
CV%		10,7	8,7	10,8	10,5
TENSÃO NO LIMITE	INTERNO	240,2 ab	247,8 a	187,5 c	218,9 b
PROPORCIONAL		16,9	18,5	14,7	15,2
TPL (kgf/cm ²)	EXTERNO	340,1 cd	393,0 c	289,7 d	386,9 c
CV%		12,1	9,3	10,3	9,8
MÓDULO DE ELASTICIDADE	INTERNO	55.892 ab	64.017 a	47.573 b	60.842 a
ME (kgf/cm ²)		28,0	31,0	26,3	33,1
	EXTERNO	105.087 de	134.423 cd	100.118 e	142.256 c
CV%		19,0	10,9	12,5	17,8
MASSA ESPECÍFICA	INTERNO	0,399 a	0,402 a	0,393 a	0,430 a
(Po/Vu)(g/cm ³)		12,3	14,5	14,4	11,6
	EXTERNO	0,475 d	0,506 cd	0,458 d	0,549 c
CV%		6,4	8,9	10,2	10,8
PORCENTAGEM DE	INTERNO	8,0 a	9,2 a	8,0 a	11,1 a
LENHO TARDIO (%)		31,9	35,3	25,1	38,2
	EXTERNO	23,4 d	29,3 cd	24,2 d	35,3 c
CV%		24,1	23,3	30,6	26,2

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

são no limite proporcional (TLP) na faixa de 35 a 67%, e dos módulos de elasticidade (ME) na faixa de 13 a 24%.

A tabela 23 apresenta as diferenças percentuais de alteração dos valores médios de resistência à compressão paralela para módulos de ruptura (MR) e de elasticidade (ME), observados entre os estados verde e 15% de umidade, para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades.

TABELA 23 - DIFERENÇAS PORCENTUAIS ENTRE OS VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA (MR) E DE ELASTICIDADE (ME) DE COMPRESSÃO PARALELA, NO ESTADO VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE, PARA AS DUAS ESPÉCIES E IDADES

PROPRIEDADE	TIPO DE LENHO	<i>Pinus oocarpa</i>		<i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	
		14 anos	18 anos	14 anos	20 anos
Módulo de	Interno	68	68	57	58
Ruptura (MR)	Externo	64	51	53	67
Módulo de	Interno	13	20	24	18
Elasticidade (ME)	Externo	16	15	17	23

Observa-se que, as diferenças percentuais dos módulos de ruptura são maiores que as apresentadas pelos módulos de elasticidade; a mesma tendência foi observada para flexão estática. Nota-se que, em média, os valores médios de resistência à compressão, alteraram-se mais que os de flexão estática. Esta tendência concorda com LAVERS⁵² que afirma serem usualmente os resultados de resistência à compressão, mais alterados que os de flexão, com a diminuição da umidade da madeira.

Da mesma forma, como observado para flexão estática e

como esperado, o lenho externo das duas espécies e idades apresentou valores médios de resistência à compressão paralela superiores aos do lenho interno. As diferenças observadas entre os valores médios do lenho externo comparados aos de lenho interno, variaram na faixa de 33 a 77% para módulo de ruptura e tensão no limite proporcional e, para módulo de elasticidade na faixa de 82 a 123%.

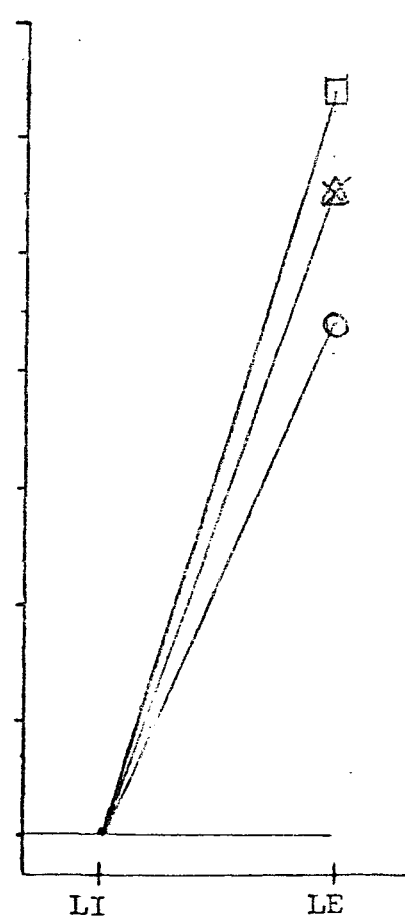
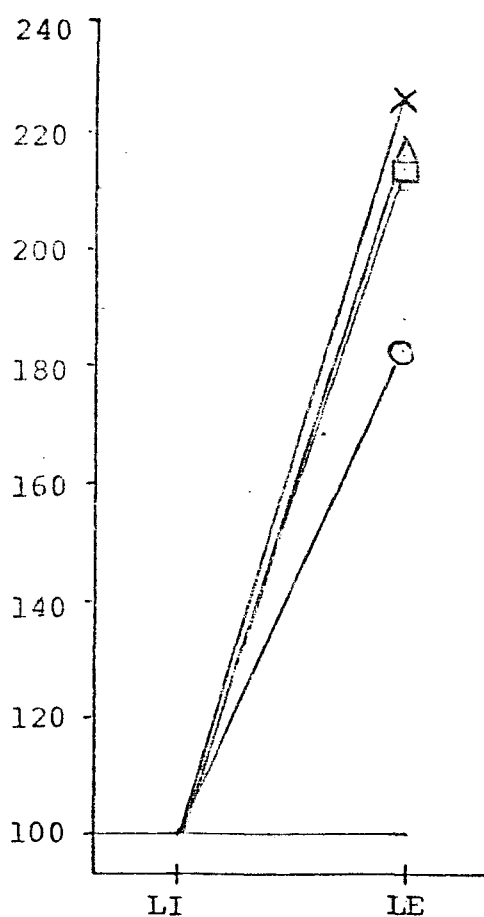
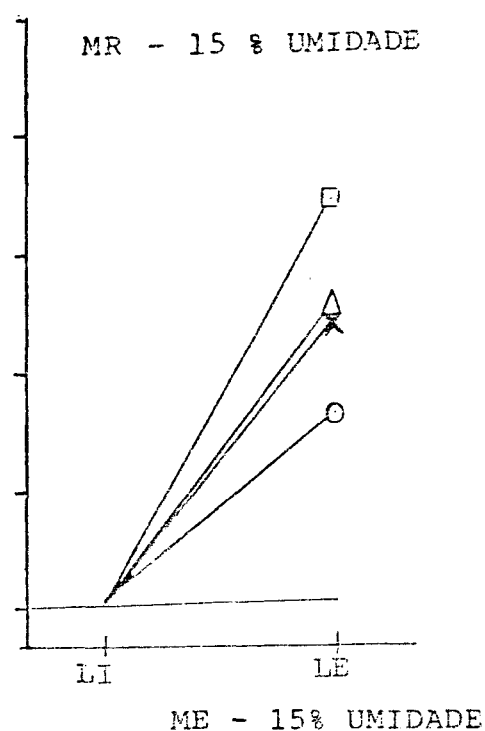
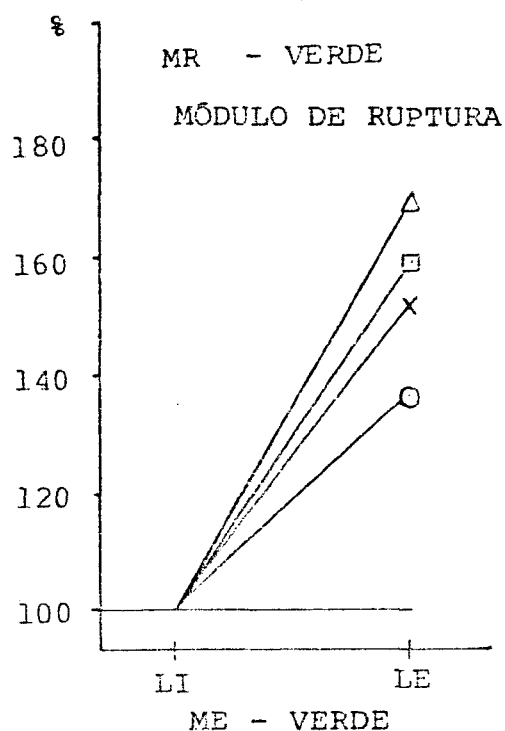
Maiores diferenças foram observadas entre os lenhos interno e externo de *Pinus caribaea* var *hondurensis* e para árvores de maiores idades.

A figura 16, ilustra graficamente as diferenças percentuais observadas entre os lenhos interno e externo, para módulos de ruptura (MR) e de elasticidade de compressão paralela, nos estados verde e seco a 15% de umidade, para as duas espécies e idades, considerando-se o valor médio do lenho interno como 100%.

Pela aplicação do Teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação das médias das propriedades de resistência à compressão paralela dos lenhos interno e externo, entre as idades e espécies, observa-se que: para *Pinus oocarpa*, as duas idades não diferem estatisticamente para o lenho interno. Para o lenho externo no estado verde, diferença estatística é apresentada entre as duas idades; a 15% de umidade, as duas idades apresentam diferença estatística em módulo de ruptura, e são semelhantes para tensão no limite proporcional e módulo de elasticidade.

Para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, as médias das duas idades (14 e 20) dos lenhos interno e externo, não diferem estatisticamente para módulo de ruptura e tensão no limite propor-

FIGURA 16 - DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM ENTRE LENHOS INTERNO E EXTERNO PARA MR E ME DE COMPRESSÃO PARALELA PARA O *PINUS OOCARPA* E *PINUS CARIBAEA* VAR *HONDURENSIS*.



LI - LENHO INTERNO

LE - LENHO EXTERNO

○ - *Pinus oocarpa*-14 anos X - *Pinus caribaea* var *hondurensis* 14

△ - *Pinus oocarpa*-18 anos □ - *Pinus caribaea* var *hondurensis* 20

cional no estado verde. Os módulos de elasticidade verde, e as propriedades a 15% de umidade, são estatisticamente diferentes entre as duas idades.

Entre as duas espécies, as árvores de 14 anos não apresentam diferença estatística entre as médias dos lenhos interno e externo, com exceção do módulo de ruptura do lenho interno a 15% de umidade e, do módulo de elasticidade do lenho interno, no estado verde.

As árvores de maiores idades (18 e 20 anos), também não apresentam diferenças estatísticas entre as médias dos lenhos interno e externo, ocorrendo apenas uma exceção para a tensão no limite proporcional a 15% de umidade.

Da mesma forma, como observado para as propriedades de resistência à flexão estática, os valores médios de resistência à compressão paralela, obtidos para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades acompanham a tendência apresentada pela massa específica e porcentagem de lenho tardio.

As exceções notadas, acontecem entre as duas idades de *Pinus oocarpa* para o lenho externo e entre as duas idades de *Pinus caribaea* var *hondurensis* para o lenho interno. Ressalta-se que, os valores médios da massa específica determinados para as árvores de menor idade, apresentam valores médios inferiores, embora não apresentem diferença estatística significativa. Este aspecto, juntamente com as diferenças observadas nas correlações das propriedades de resistência à compressão paralela, dos lenhos interno e externo para as duas idades das duas espécies, podem explicar as diferenças verificadas.

As tabelas 24 e 25, apresentam o resumo das correlações obtidas através de regressão linear, entre módulos de ruptura e

de elasticidade de compressão paralela com a massa específica, determinada nos respectivos corpos de prova dos lenhos interno e externo, nos estados verde e seco a 15% de umidade, para as duas espécies e idades.

Observa-se que, para as duas espécies, os coeficientes de correlação encontrados nas relações lineares entre módulo de ruptura e massa específica e, entre módulo de elasticidade e massa específica apresentam, de maneira geral, a mesma tendência.

As relações lineares entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica, são mais significativas para o estado seco a 15% de umidade, em relação ao verde e, para o lenho externo em relação ao interno. A mesma tendência, foi observada para as relações lineares entre as propriedades de resistência à flexão estática e massa específica.

Para *Pinus oocarpa* a relação entre módulo de ruptura e massa específica apresentou coeficientes de correlação (R) entre 0,63 e 0,78 para o lenho interno e, entre 0,80 e 0,89 para o lenho externo. A relação entre módulo de elasticidade e massa específica variou entre 0,61 e 0,76 para o lenho interno e, entre 0,78 e 0,87 para o lenho externo.

Para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, a relação entre módulo de ruptura e massa específica apresentou coeficientes de correlação (R) entre 0,62 e 0,75 para o lenho interno e entre 0,79 e 0,88 para o lenho externo. A relação entre módulo de elasticidade e massa específica, apresentou coeficientes de correlação variando na faixa de 0,57 a 0,71 para o lenho interno e, na faixa de 0,77 a 0,85 para o lenho externo.

Nota-se que, os coeficiente de correlação linear (R) ob-

TABELA 24 - RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA (MR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE COM-PRESSÃO PARALELA, COM A MASSA ESPECÍFICA, PARA O LENHO INTERNO E EXTERNO DE *Pinus oocarpa* DE 14 E 18 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

RELAÇÃO	IDADE	TIPO DE LENHO	COEFICIENTES			CONDIÇÃO
			R ²	R	F _{cal}	
MR/r	14	Interno	0,40	0,63	12,7 **	Verde
		Externo	0,65	0,80	32,3 **	
ME/r		Interno	0,37	0,61	12,1 **	
		Externo	0,61	0,78	23,6 **	
MR/r	14	Interno	0,55	0,74	22,5 **	Seco a
		Externo	0,76	0,87	56,9 **	
ME/r		Interno	0,51	0,71	19,3 **	15% U
		Externo	0,71	0,84	43,1 **	
MR/r	18	Interno	0,58	0,76	19,5 **	Verde
		Externo	0,73	0,85	48,4 **	
ME/r		Interno	0,49	0,70	13,3 **	
		Externo	0,69	0,83	27,5 **	
MR/r	18	Interno	0,61	0,78	34,2 **	Seco a
		Externo	0,79	0,89	69,5 **	
ME/r		Interno	0,58	0,76	26,2 **	15% U
		Externo	0,75	0,87	53,1 **	

** significativo ao nível de 99% de probabilidade

MR = módulo de ruptura

ME = módulo de elasticidade

r = massa específica (na condição verde = massa seca / volume verde)

(na condição a 15% U = massa seca / volume a 15% U)

R² = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de teste de hipóteses calculado.

TABELA 25 - RESUMO DAS CORRELAÇÕES OBSERVADAS ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA (MR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) DE COM-PRESSÃO PARALELA, COM A MASSA ESPECÍFICA (r). PARA LENHO INTERNO E EXTERNO DE *Pinus caribaea var hondurensis* DE 14 E 20 ANOS, ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

RELAÇÃO	IDADE	TIPO DE LENHO	COEFICIENTES			CONDIÇÃO
			R ²	R	F _{cal}	
MR/r	14	Interno	0,39	0,62	12,0 **	Verde
		Externo	0,62	0,79	29,2 **	
ME/r		Interno	0,32	0,57	9,8 **	
		Externo	0,60	0,77	21,1 **	
MR/r	14	Interno	0,48	0,69	16,3 **	Seca a
		Externo	0,72	0,85	45,6 **	
ME/r		Interno	0,42	0,65	12,1 **	15% U
		Externo	0,69	0,83	40,0 **	
MR/r	20	Interno	0,43	0,66	13,0 **	Verde
		Externo	0,64	0,80	32,2 **	
ME/r		Interno	0,39	0,62	11,9 **	
		Externo	0,58	0,76	20,8 **	
MR/r	20	Interno	0,57	0,75	21,6 **	Seca a
		Externo	0,78	0,88	51,1 **	
ME/r		Interno	0,50	0,71	17,1 **	15% U
		Externo	0,72	0,85	35,3 **	

** significativo ao nível de 99% de probabilidade

MR = módulo de ruptura

ME = módulo de elasticidade

r = massa específica (na condição verde = massa seca/ volume verde)

(na condição a 15% U = massa seca/ volume a 15% U)

R² = coeficiente de determinação

R = coeficiente de correlação

F_{cal} = critério de teste de hipóteses calculado.

tidos para as relações entre as propriedades de resistência à compressão, apresentam-se de maneira geral, superiores aos verificados para as propriedades de flexão estática e massa específica.

As relações observadas entre módulo de ruptura e massa específica de compressão paralela no lenho externo, para as duas espécies, são mais correlacionadas que para o lenho interno. Estas diferenças podem estar relacionadas a maior variação apresentada pelos valores médios de resistência do lenho interno.

Da mesma forma, como para flexão estática, a alta correlação linear verificada entre as propriedades de resistência de compressão paralela e massa específica é bem estabelecida para a madeira.

Os resultados médios obtidos para o módulo de ruptura de compressão paralela dos lenhos interno e externo são semelhantes aos observados por PEARSON & GILMORE⁶¹ para *Pinus taeda* de 15 anos, o mesmo ocorrendo para o módulo de elasticidade do lenho interno. Não foi determinado naquele estudo, o módulo de elasticidade para o lenho externo.

Os valores médios apresentados para módulos de ruptura de compressão paralela no Wood Handbook, USDA e por LAVERS,⁵² para *Pinus occarpa* e *Pinus caribaea* procedente de Honduras, nos estados verde e a 12% de umidade, são superiores aos obtidos para o lenho externo das duas espécies neste estudo. Ressalta-se que a massa específica apresentada é também superior (0,68 e 0,77 g/cm³, o que indica, possivelmente tratar-se de valores médios de árvores com idades muito superiores as das árvores testadas neste estudo.

Valores médios de módulos de elasticidade de compressão paralela são escassos na literatura, possivelmente pela dificuldade nas determinações, observa-se contudo que os módulos de elasticidade de compressão paralela de uma forma geral, apresentam-se ligeiramente menores que os determinados por flexão estática.

4.4.3 Correlações entre propriedades de resistência, massa específica e porcentagem de lenho tardio

As tabelas 26 e 27, apresentam equações de regressão linear ($Y = a + bx$), que melhor ajustaram as relações entre as propriedades de resistência à flexão estática e compressão paralela às fibras, massa específica e porcentagem de lenho tardio, para a combinação dos lenhos interno e externo e idades (14 e 18 anos) do *Pinus oocarpa*, nos estados verde e seco a 15% de umidade.

As figuras 17 e 18, apresentam graficamente as relações entre as propriedades de resistência a flexão estática e compressão paralela às fibras, massa específica e porcentagem de lenho tardio, para as combinações dos lenhos interno e externo e idades (14 e 18 anos) do *Pinus oocarpa*, nos estados verde e seco a 15% de umidade, por equações de regressão linear ($y = a + bx$).

As tabelas 28 e 29, apresentam equações de regressão linear ($Y = a + bx$), que melhor ajustaram às relações entre as propriedades de resistência à flexão estática e compressão paralela às fibras, massa específica e porcentagem de lenho tardio, para a combinação dos lenhos interno e externo e idades

TABELA 26 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTATICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO PARA ÁRVORES DE 14 E 18 ANOS DE *Pinus oocarpa* NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMI-DADE

EQUAÇÃO (Y = a + bx)	R ²	R	F _{cal}	Sxy (%)	N	Condição
MR = 1557,36r - 215,61	0,75	0,87	191,7	11,9	74	VERDE
MR = 275,67 + 10,56 LT	0,70	0,84	177,0	12,2	74	
MR = 96,55 + 0,00418 ME	0,80	0,89	290,0	10,1	74	
ME = 317907 r - 50085	0,65	0,81	116,6	16,3	74	
MR = 2385,14 r _u - 410,93	0,77	0,88	175,5	10,3	74	15% UMI-DADE
MR = 431,95 + 13,85 LT	0,71	0,84	134,3	11,7	74	
MR = 149,68 + 0,00543 ME	0,81	0,90	231,5	9,5	74	
ME = 385832 r _u - 78223	0,68	0,82	116,5	14,3	74	

MR = módulo de ruptura em kgf/cm²

ME = módulo de elasticidade em kgf/cm²

r = massa específica em g/cm³

LT= % de lenho tardio

(14 e 20 anos) do *Pinus caribaea* var *hondurensis*, nos estados verde e seco a 15% de umidade.

A figuras 19 e 20, apresentam graficamente as relações entre as propriedades de resistência à flexão estática e compressão paralela às fibras, massa específica e porcentagem de lenho tardio, para a combinação dos lenhos interno e externo e idades (14 e 20 anos) do *Pinus caribaea* var *hondurensis*.

TABELA 27 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO. DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, DE ÁRVORES DE 14 E 18 ANOS DO *Pinus oocarpa*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m).

EQUAÇÃO	(Y = a + bx)	R ²	R	F	Sxy (%)	N	Condição
MR = 938,632 r - 167,852		0,80	0,89	257,1	11,3	74	VERDE
MR = 121,84 + 6,71 LT		0,73	0,85	340,4	10,2	74	
MR = 71,41 + 0,0026 ME		0,83	0,91	289,8	10,7	74	
ME = 276237 r - 59457		0,69	0,83	129,4	18,2	74	
MR = 1143,32 r - 129,75		0,83	0,91	274,0	8,4	74	15% UMI- DADE
MR = 262,96 + 7,27 LT		0,74	0,86	166,2	10,2	74	
MR = 151,09 + 0,003 ME		0,89	0,94	456,1	6,8	74	
ME = 351937 r - 80011		0,81	0,90	241,4	13,3	74	

MR = módulo de ruptura em Kg/cm²

ME = módulo de elasticidade em Kg/cm²

r = massa específica em g/cm³

LT = % de lenho tardio

Entre os três modelos de equações lineares testados (Y = a + bx, linha reta; Y = a + b₁x + b₂x², polinomial de 2º grau; e Y = a + b^x, exponencial), o modelo Y = a + bx, linear reto, apresentou coeficientes de correlação mais elevados, demonstrando que as relações entre as propriedades das duas espécies estudadas, são bem representadas graficamente por uma relação positiva em linha reta.

FIGURA 17 - RELAÇÕES LINEARES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 e 18 ANOS DO *Pinus oocarpa*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)

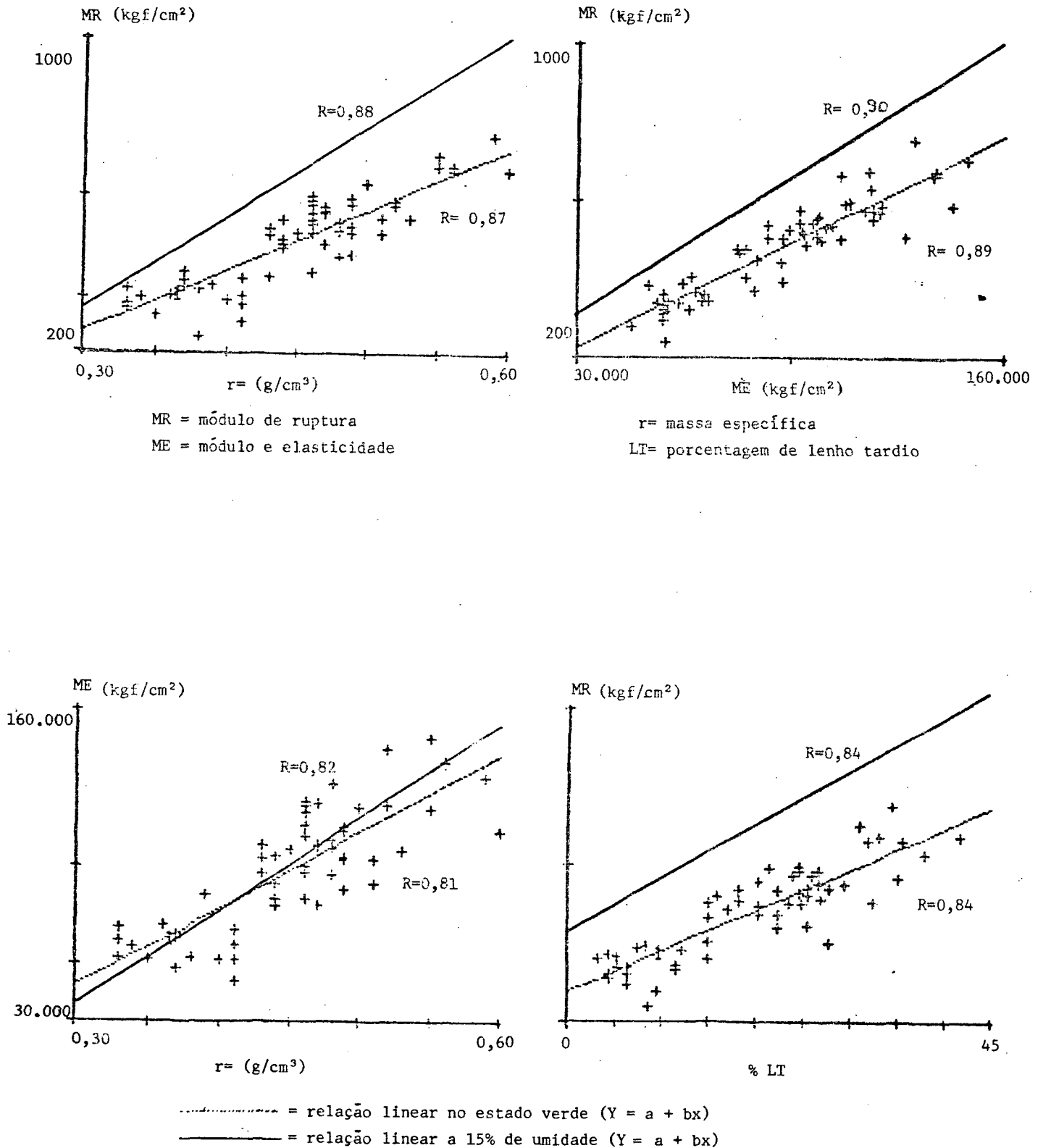


FIGURA 18 - RELAÇÕES LINEARES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 E 18 ANOS DO *Pinus oocarpa*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)

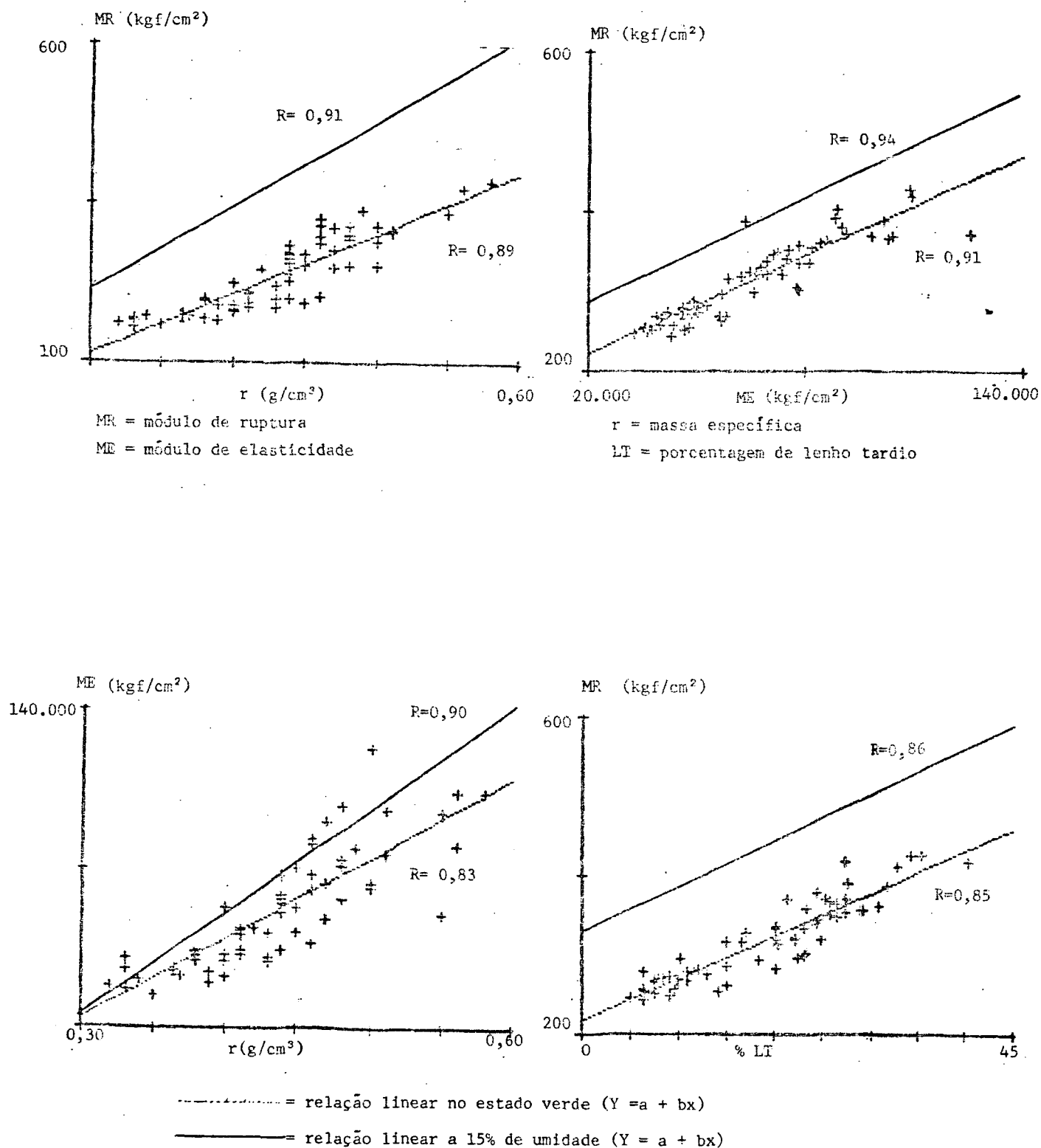


TABELA 28 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, DE ÁRVORES DE 14 E 20 ANOS DO *Pinus caribaea* var *hondurensis*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)

EQUAÇÃO (Y = a + bx)	R ²	R	F	Sxy (%)	N	Condição
MR = 1609,97 r - 245,29	0,77	0,88	226,7	14,3	76	VERDE
MR = 230,83 + 9,85 LT	0,69	0,83	291,6	12,7	76	
MR = 103,62 + 0,00402 ME	0,81	0,90	507,2	10,2	76	
ME = 352953 r - 66792	0,67	0,82	149,5	20,4	76	
MR = 2231,61 r - 334,3	0,81	0,90	235,6	11,7	76	15% UMI- DADE
MR = 352,45 + 16,38LT	0,71	0,84	133,7	14,6	76	
MR = 126,9 + 0,00545 ME	0,87	0,93	376,7	9,7	76	
ME = 355661 r - 57454	0,72	0,85	130,3	16,6	76	

MR = módulo de ruptura em kgf/cm²

ME = módulo de elasticidade em kgf/cm²

r = massa específica em g/cm³

LT = % de lenho tardio

Relações lineares retas, entre as propriedades de resistência e massa específica, foram observados por muitos pesquisadores para espécies do gênero *Pinus*, como BENDTSEN & ETHINGTON (1972) e MANWILLER, citados por KOCH,⁴⁷ PEARSON E GILMORE,⁶¹ SIMIONI,⁶⁶ entre outros.

TABELA 29 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO, DE ÁRVORES DE 14 E 20 ANOS DO *Pinus caribaea* var *hondurensis* NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE. (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50 m).

EQUAÇÃO (Y= a + bx)	R ²	R	F	Sxy (%)	N	Condição
MR = 704,21r - 70,94	0,77	0,88	209,8	12,0	76	VERDE
MR = 140,15 + 4,85 LT	0,72	0,85	176,1	12,8	76	
MR = 78,2 + 0,00269 ME	0,81	0,90	358,8	9,6	76	
ME = 224749 r - 40.114	0,65	0,81	112,7	21,4	76	
MR = 977,65r - 70,88	0,82	0,91	258,1	10,1	76	15% UMI- DADE
MR = 227,27 + 7,65 LT	0,75	0,87	168,1	11,9	76	
MR = 156,34 + 0,00249 ME	0,93	0,96	795	6,2	76	
ME = 376879 r - 84600	0,79	0,89	205,0	18,5	76	

MR = módulo de ruptura em kgf/cm²

ME = módulo de elasticidade em kgf/cm²

r = massa específica em g/cm³

LT= % de lenho tardio

O modelo $Y = a + b_1x + b_2x^2$, polinomial de 2º grau, apresentou coeficientes de correlação muito próximos aos obtidos pela equação linear reta, demonstrando ajustar muito bem as relações entre as propriedades de resistência, massa específica e porcentagem de lenho interno, para os lenhos interno e externo e idades das duas espécies estudadas.

FIGURA 19 - RELAÇÕES LINEARES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO E IDADES DE 14 E 20 ANOS, DO *Pinus caribaea* var *hondurensis*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)

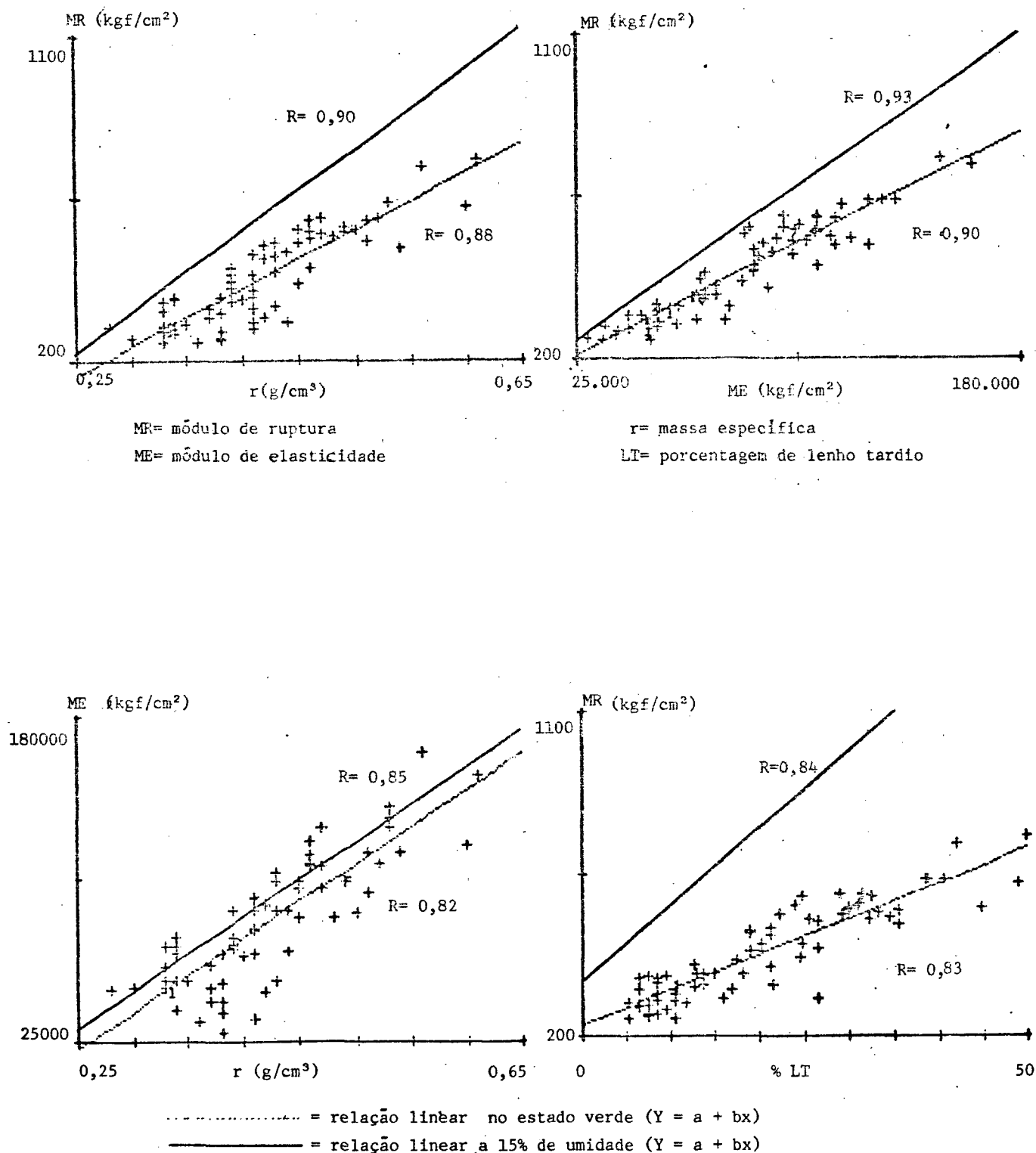
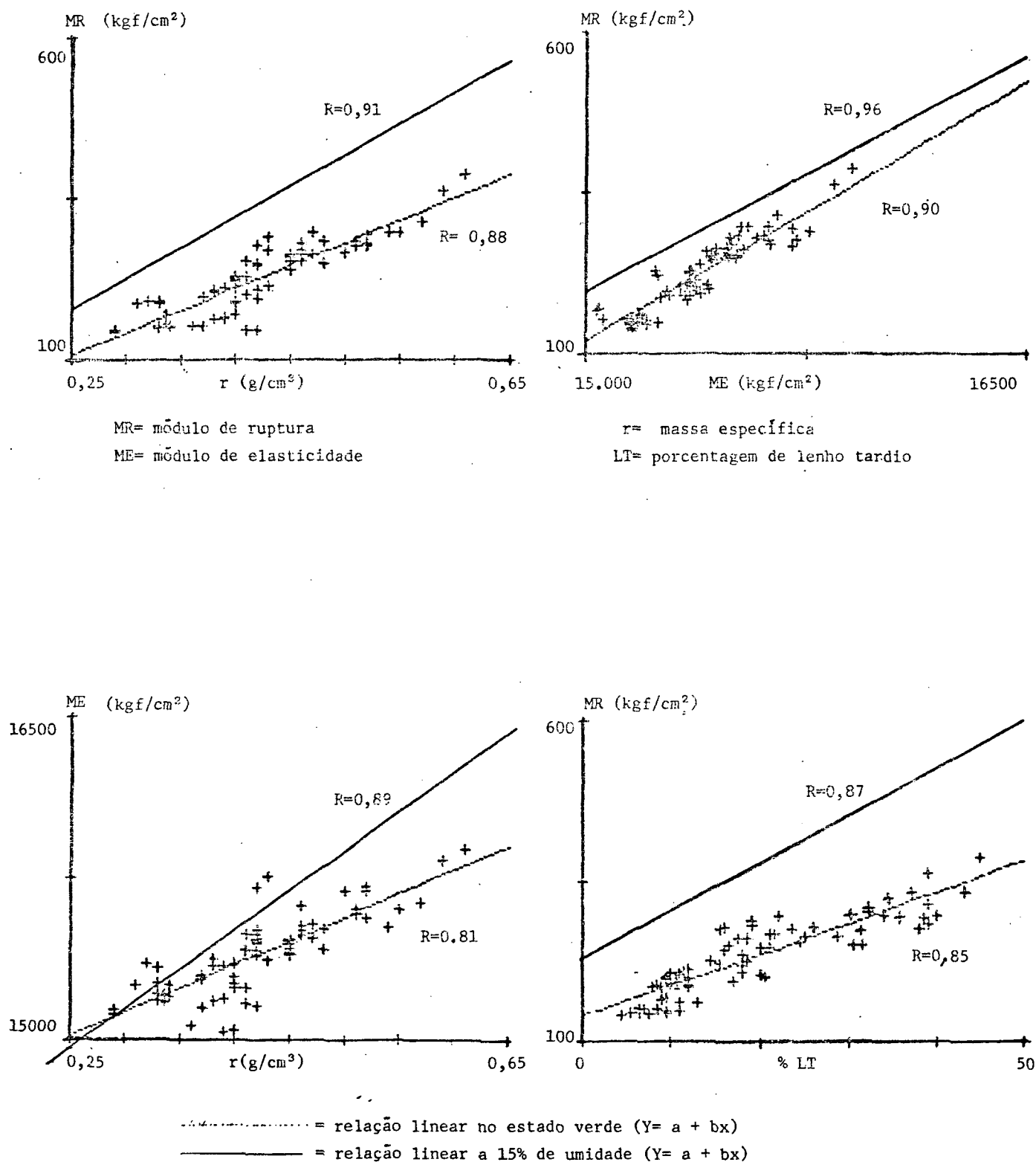


FIGURA 20 - RELAÇÕES LINEARES ENTRE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA A COMBINAÇÃO DOS LENHOS INTERNO E EXTERNO DE IDADES DE 14 E 20 ANOS, DO *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, NOS ESTADOS VERDE E SECO A 15% DE UMIDADE (ENTRE A ALTURA DO DAP E 3,50m)



Os valores do F calculado das análises de variância dos coeficientes (a,b), das equações de regressão linear reta ($Y = a + bx$), para as associações entre os módulos de ruptura (MR), módulos de elasticidade (ME), massa específica (r) e, porcentagem de lenho tardio (LT), para as duas espécies, nos estados verde e seco a 15% de umidade, mostram que os modelos ajustados representam as relações entre as variáveis correlacionadas, ao nível de 99% de probabilidade.

Os coeficientes de correlação (R) para todas as equações, foram superiores a 0,80, indicando a existência de alta correlação entre todas as propriedades de resistência associadas à massa específica e a porcentagem de lenho tardio.

Os coeficientes de determinação (R^2), que indicam a proporção da variação da variável dependente relacionada à variação na variável independente, mostrando quanto da relação existente entre as variáveis está representada pelo modelo ajustado, variam de 0,65 a 0,90.

Os erros padrões de estimativa ($S_{xy\%}$), indicando que a precisão das equações varia na faixa de 6,2 a 21,4%, tem os maiores valores determinados para a associação entre módulos de elasticidade (ME) e massa específica (13,3 a 21,4%).

As relações entre os módulos de ruptura (MR) e massa específica, para as duas espécies, tanto em flexão estática como para compressão paralela, nos estados verde e seco a 15% de umidade, apresentam coeficientes de correlação altos (0,86 a 0,91), o que confirma a alta influência da massa específica nas propriedades de resistência da madeira, especialmente o módulo de ruptura. A alta correlação entre as propriedades de resistência e massa específica, são bem definidas para a madeira, sendo com-

provada por vários pesquisadores para inúmeras espécies, tanto para madeiras de coníferas como de folhosas.

Para o *Pinus oocarpa* e o *Pinus caribaea* ~~var~~ *hondurensis* deste estudo, verifica-se em virtude dos resultados muito altos das correlações obtidas, que o aumento dos valores das resistências mecânicas está altamente dependente do aumento da massa específica, esperando-se que, para a madeira de maior massa específica, como é o caso do lenho externo, as propriedades de resistência, em termos de módulo de ruptura (MR) e, também módulo de elasticidade (ME), para flexão estática e compressão paralela, serão também superiores.

As relações entre módulos de ruptura (MR) e a porcentagem de lenho tardio (LT) determinadas, também confirmam a afinidade significativa para a flexão estática e compressão paralela, de acordo com os altos coeficientes de correlação obtidos. Isto vem a confirmar a afirmação de KNIGGE & SCHULZ,⁴⁶ que a porcentagem de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, existindo também, forte correlação com a massa específica.

As relações entre os módulos de elasticidade (ME) e massa específica (r), mostram para as duas espécies e condições de umidade da madeira, coeficientes de correlação inferiores aos observados pela associação do módulo de ruptura e massa específica (0,79 a 0,89); demonstrando uma correlação ligeiramente inferior entre estas variáveis. PEARSON & GILMORE,⁶¹ KOCH,⁴⁷ e outros pesquisadores, também observam esta tendência para outras espécies do gênero *Pinus*.

A associação entre os módulos de ruptura (MR) e de elasticidade (ME), para as duas espécies, nos estados verde e seco

a 15% de umidade, mostrou os mais altos coeficientes de correlação, como era esperado e comprovado por resultados apresentados na literatura por KOCH,⁴⁷ PEARSON & GILMORE,⁶¹ entre outros. Obteve-se coeficientes de correlação (R) que variaram entre 0,91 e 0,93 no estado verde, e entre 0,90 a 0,96 a 15% de umidade.

De maneira geral, os coeficientes de correlação obtidos para o estado verde apresentaram-se ligeiramente inferiores aos obtidos no estado seco a 15% de umidade. Esta tendência, é também reconhecida por vários pesquisadores, devido a influência da umidade.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e discussões apresentados, conclui-se:

- a) A massa específica básica (massa seca / volume verde), considerado o efeito da idade, decresce com a altura no tronco das árvores das duas espécies e idades estudadas. O decréscimo entre a altura de 1,30 m (DAP) e a altura comercial (Hc. diâmetro igual a 5 cm) foi cerca de 25%. Esta tendência confirma o padrão de variação longitudinal da massa específica no tronco de espécies do gênero *Pinus*, considerando-se o efeito da idade.

Ao nível do DAP, as duas espécies e idades, não apresentaram diferença estatística entre a massa específica média determinada.

Os valores médios da massa específica na altura do DAP, obtidos para as duas espécies, assemelham-se aos apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus* (0,46 a 0,57 g/cm³).

- b) A massa específica básica da porção do lenho interno (próximo a medula), entre a altura de 1,30 m (DAP) e 3,50m, mostrou-se estatisticamente semelhante para as duas espécies e idades, (0,35 a 0,39 g/cm³). Na porção do lenho externo (próximo a casca), a massa específica apresentou valores médios maiores para as árvores de maiores idades (18 e 20 anos) das duas espécies (0,50 g/cm³), comparados aos obtidos para

árvores de 14 anos ($0,43-0,36 \text{ g/cm}^3$). Entre as idades (14 e 20 anos) de *Pinus caribae* e *Pinus hondurensis* foi observada diferença estatística significativa ao nível de 99% de probabilidade, entre as médias da massa específica ($0,43-0,50 \text{ g/cm}^3$).

A massa específica do lenho externo, apresentou valores médios cerca de 20% superiores aos do lenho interno, para árvores de 14 anos das duas espécies. Nas árvores de maiores idades, a diferença aumentou para 29%.

Estas diferenças mostram a acentuada variação da massa específica, no sentido medula casca, para as duas espécies, mostrando o aumento da massa específica com o aumento da idade. Os valores médios da massa específica do lenho interno, considerado isoladamente, são inferiores aos apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus*; enquanto que, os valores médios do lenho externo apresentam-se semelhantes aos citados na literatura.

- c) A porcentagem de lenho tardio determinada nos lenhos interno e externo, das duas espécies e idades, apresentaram a mesma tendência observada para a massa específica. A variação em porcentagem porém, foi bastante superior, cerca de 200% maior no lenho externo.

As árvores de maiores idades (18 e 20 anos) das duas espécies, apresentaram porcentagem de lenho tardio no lenho externo 40% superior, à determinada para o lenho externo das árvores de 14 anos.

A alta correlação observada entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio ($0,72$ a $0,91$), evidencia a impor -

tância do lenho tardio sobre as propriedades da madeira das duas espécies estudadas.

- d) As propriedades de retratibilidade determinadas para os lenhos interno e externo das duas espécies e idades, confirmaram as diferenças existentes entre os mesmos. A contração volumétrica máxima dos lenhos internos mostraram-se menores (8,0 - 10,6%), comparada aos lenhos externos (11,7-13,5%). De modo geral, a contração volumétrica máxima mostrou alta correlação com a massa específica, não existindo porém, correlação para o lenho interno das árvores de 14 anos das duas espécies, possivelmente devido a influência do cerne e extrativos na massa específica e contração.
- e) As características morfológicas dos traqueóides das duas espécies, à altura do DAP, assemelham-se aos valores apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus*, seguem o mesmo padrão de alteração no sentido medula-casca. O comprimento dos traqueóides aumentou rapidamente até o 8º anel, com aumentos gradativamente menores até os últimos anéis de crescimento medidos (17º e 19º) para as duas espécies.
- O comprimento médio dos traqueóides do *Pinus caribaea* var *hondurensis*, apresentou-se na faixa de 0,12 a 0,32mm mais longos que os de *Pinus oocarpa*.
- f) As propriedades de resistência à flexão estática e à compressão paralela às fibras, dos lenhos interno e externo, das duas espécies e idades, alteraram-se para mais, nas faixas de 40 a 70%, para módulos de ruptura, e de 5 a 30% para módulos de elasticidade, do estado verde para o estado seco a 15% de umidade.

- g) As propriedades de resistência a flexão estática e compressão paralela às fibras, dos lenhos interno e externo, das duas espécies e idades, mostraram acentuada diferença entre si. Confirmando a alta variação das propriedades da madeira no sentido medula casca, para árvores de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus*.

As diferenças entre os valores médios obtidos para as propriedades de resistência à flexão estática, foram 40 a 100% maiores para o lenho externo, comparado ao interno. As maiores diferenças foram observadas para as duas idades de *Pinus caribaea* var *hondurensis* e, para os módulos de elasticidade.

As diferenças observadas entre os lenhos interno e externo, para as resistências à compressão paralela às fibras, variaram na faixa de 33 a 123%. As maiores diferenças, foram também observadas para *Pinus caribaea* var *hondurensis* e, para os módulos de elasticidade.

Os resultados obtidos para as propriedades de resistência, seguem de maneira geral, a tendência apresentada pela massa específica, que foi maior para o lenho externo.

- h) As propriedades de resistência à flexão estática e à compressão paralela às fibras, do lenho interno das duas espécies e idades, mostraram-se de maneira geral, semelhantes entre si, com exceção do *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 14 anos, que apresentou valores médios mais baixos. Esta tendência indica, similaridade em termos de resistência da madeira, para o lenho interno entre as espécies e idades.
- i) As propriedades de resistência à flexão estática e à compressão paralela às fibras do lenho externo, das duas espécies e idades, de modo geral, apresentaram diferenças estatísticas

significativas entre as idades, indicando maiores resistências para as idades maiores, embora entre as duas idades do *Pinus oocarpa* não tenha ocorrido diferenças estatísticas em algumas propriedades.

- j) A variação verificada para os valores médios de resistência do lenho interno, para as duas espécies e idades, foram maiores que a verificada para o lenho externo, indicando maior variabilidade no lenho interno das duas espécies.
- k) As propriedades de resistência, em termos de módulos de ruptura e de elasticidade, tanto de flexão estática como de compressão paralela às fibras, mostraram correlação significativa com a massa específica, para os lenhos interno e externo isoladamente. As correlações foram mais estreitas no estado seco a 15% de umidade e, para o lenho externo.
- l) A relação entre as propriedades de resistência à flexão estática e a compressão paralela às fibras, massa específica e porcentagem de lenho tardio, da combinação dos dois tipos de lenho e idades, para as duas espécies, mostraram altas correlações (0,81 a 0,94) ajustadas por regressão linear simples indicando uma forte dependência das propriedades de resistência, em termos de módulos de ruptura e de elasticidade, da massa específica e porcentagem de lenho tardio, tanto no estado verde como seco a 15% de umidade.
- m) Os resultados médios obtidos para as propriedades de resistência das duas espécies e idades, quando considerado isoladamente o lenho externo, assemelham-se aos valores médios

citados na literatura, para várias espécies do gênero *Pinus*. Considerando-se isoladamente o lenho interno, estes apresentaram-se sempre inferiores aos valores médios citados na literatura.

- n) As propriedades de resistência, massa específica e porcentagem de lenho tardio, apresentaram a tendência de aumento nas porções de lenho externo, aumentando com a idade das árvores. Espera-se assim, de árvores de maiores idades, proporções de lenho externo (adulto) maiores, que apresentarão propriedades de resistência também superiores. As diferenças entre as características dos lenhos interno (juvenil) e externo (adulto), deverão ser levados em consideração na utilização adequada da madeira sólida das espécies estudadas. Ressalta-se que o lenho interno (juvenil), que apresenta características distintamente inferiores em termos de resistência, permanece restrito aos anéis de crescimento próximos à medula, com o aumento da idade, a proporção de lenho externo (adulto) aumenta, podendo favorecer madeira com características de resistências desejáveis.
- o) A observação das diferenças existentes entre as características do lenho interno e externo das duas espécies e idades, só foi possível pela separação dos dois tipos de lenho em corpos de prova distintos.

Com base nas conclusões anteriores, faz-se as seguintes sugestões:

- a) Realização de estudos visando a determinação das propriedades de árvores de maiores idades das duas espécies.

- 101
- b) Realização de testes adicionais em peças de tamanhos de utilização, para obtenção de informações de como defeitos na madeira, como nós e desvios na grã interagem sobre as propriedades intrínsecas da madeira e afetam sua resistência.
 - c) Realização de estudos comparativos entre as propriedades da madeira das espécies estudadas, com outras espécies do gênero *Pinus*, plantadas no Brasil.
 - d) Realização de estudos visando a adequação na utilização da madeira sólida das espécies estudadas, levando em consideração as características distintas entre os lenhos interno (juvenil) e externo (adulto).
 - e) Realização de estudos objetivando a seleção e melhoramento genético das propriedades do lenho juvenil, pela possibilidade de seleção de matrizes com lenho juvenil de características superiores à média, o que possibilitaria a obtenção de madeira juvenil com propriedades mais desejáveis.
 - f) O uso final da madeira e suas necessidades em termos de propriedades físicas e mecânicas deve ser objeto dos programas de melhoramento e manejo, juntamente com os objetivos de rápido crescimento e boa forma das árvores.

SUMMARY

Physical properties (basic density, shrinkage and dimensional anisotropy), mechanical properties (static bending and compression parallel to the grain, green and 15 percent moisture content) and tracheids morphological characteristics were determined from wood of *Pinus oocarpa* Shiede, 14 and 18 years old trees and of *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr and Golf, 14 and 20 years old trees, from plantations in Agudos region, Sao Paulo state.

Ten trees of similar diameters were selected for species and age.

Basic density was determined by discs at five heights in stem. Tracheids morphological characteristics were determined in alternate grown rings at 1.30 m (DBH) of 18 and 20 years old trees. Mechanical properties, shrinkage, basic density and latewood percent, were determined on clear wood samples from two zones: innerwood (near the pith) and outerwood (near the bark) of butt logs cut between 1.30 m (DBH) and 3.50 m height.

Basic density (oven-dry weight, green volume basis) decreases with height (age effect was eliminated). There was no statistically significant difference among the basic density mean values at DBH level among species and ages.

The average tracheid length between the 2^o and 17^o grown rings of *Pinus oocarpa* increases about 120 percent, and between the 2^o and 19^o grown ring of *Pinus caribaea* var *hondurensis*, about 95 percent.

The Average values for all properties of the outer specimens were markedly higher than those of the innerwood. Higher differences were observed for the oldest trees of the two species.

The basic density mean values of outer specimens ranged from 20 to 30 percent of the cooresponding values for the innerwood. The various mechanical properties (green and 15 percent moisture content) ranged from 40 to 130 percent of the corresponding values for the innerwood.

Strenght properties of dried wood (15 percent moisture content) increase in the range of 40 to 70 percent for modulus of rupture (MOR) and 5 to 30 percent for modulus of elasticity (MOE), when compared to green values.

High correlation coefficients were observed among mechanical properties, basic density and latewood percent for the combination of innerwood, outerwood and ages for the species, at green and 15 percent moisture content.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AZEREDO, N.R.S. Atual situação de oferta e demanda de matéria prima de reflorestamento. In: Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento-SEMADER. 2 Curitiba, 1988.
- 2 BAKER, R.T. & SMITH, H.G. Wood fibres of some Australian timbers. J. Counc. Sci. Ind. Res., 14 (4) : 266-80, 1924.
- 3 BAMBER, R.K. In progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees. Nature, 191:409-10.
- 4 BAMBER, R.K. & BURLEY, J. The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1983. 84p.
- 5 BARTZ, A. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. In: Congresso Florestal Brasileiro, 2. Curitiba, 1973.
- 6 BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. For Prod. J., 28 (10) : 61-72, 1978.
- 7 BENDTSEN & SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. Wood and Fiber Science. 1986, VE 18 (1) : 21-38p.

- 8 BISSET, I.J.W. & DADSWELL, H.E. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. Aust. For., 14 : 17-29, 1950.
- 9 _____, WARDROP, A.B. Factors influencing tracheid length in conifers stems. Aust. For. 15 : 17,30, 1951.
- 10 BOONE, R.S. & CHUDNOFF, M. Compression wood formation and other characteristics of plantation-grown *Pinus caribea*. USDA For. Serv. Res. Pap. ITF - 13, 1972.
- 11 BROWN, W.H. Timbers of the world.9 - Central América and the Caribeau. Timber Research and Development Association. England, 1979. 86p.
- 12 BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J. & FORSAITH, C.C. Textbook of wood technology - II New York, McGraw Hill, 1952. 783p.
- 13 BRASIL, M.A.M.; NICOLIELO, N. & VEIGA, R.A.A. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiêde em diversas idades na região de Agudos, SP. Revista Floresta, 11 (1):33-41, 1980.
- 14 BURLEY, J. Tracheid length variation in a single tree of *Pinus kesiya* Royle ex Gord. Wood Sci. Technol., 3:109-116, 1969.
- 15 _____. Variation in wood properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (syn. *P.khasiya*; *P. insularis* Endlicher) : six trees of Assam provenance grown in Zambia. Wood Sci. Technol., 4 : 195-212. 1970.

- 16 CAMARGO, F.A. Densidade e lenho tardio de árvores prove -
nientes de desbastes em povoamento de *Pinus*. Rel. Técnico
CAFMA, Piracicaba, 1987.
- 17 CARLQUIST, S. Ecological strategies of xylem evolution.
Berkeley, University of California Press, 1975. 259p.
- 18 _____. Ecological factores in wood evolution: a floristic
approach. Amer. J. Bot., 64 (7):887-896, 1977.
- 19 CHOONG, E.T. *et al.* Cultural treatment and wood-type effects
on wood properties. Wood and Fiber Science. 21(2): 193,
206, 1989.
- 20 COWN, D.J. Wood density of radiata pine: its variation and
manipulation. NZ. J. Fort., 19 : 84-92, 1974,
- 21 _____. Radiata Pine: Woodage and wood property concepts.
N.Z.J. Fort. Sc., 10 (3) : 504,07, 1980.
- 22 _____. Variation in tracheid dimensions in the stem of a
26-year-old radiata pine tree. APPITA. 28(4): 237,45,1975.
- 23 CURRY, W.T. & COVINGTON, S.A. Grade stresses for European
redwood and whitewood. In: The princes Risborough Labora-
tory of the Building Research Establishment. The strenght
properties of timber. Lancaster, MTP Construction, 1974.
- 24 CHUGG, W.A. Glulam. Ernest Bernme. Lmited London, 1964.
423p.
- 25 DADSWELL, H.E. The role of wood anatomy in forest botany.
J. Council Scient.and Idnt. Res., 12 (2) : 137-43. 1939.

- 26 _____. Tree growth characteristic and their influence in wood structure and properties. Austrália, Div. of Build. Res. Csiro, 1957. 19p.
- 27 _____. Wood structure variations occurring during tree growth and their influence on properties. Wood Sci., 1 : 11-32, 1958.
- 28 _____, & NICHOLS, J.W.P. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. Div.For.Prod.Technol.Pap.For.Prod.Aust., 4 16p. Apud. Forestry Abstracts, 21(2) : 1960.
- 29 DESCH, H.E. Timber it's structure and properties. London, Mac Millam 1982. 350p.
- 30 DUFFIELD, J.W. Genetic improvement of wood quality. For. Prod.J., 11(5) : 211-213, 1861.
- 31 DURLO, M.A. Determinação de variáveis para a caracterização de *Pinus elliottii* com finalidade estrutural. In: Congresso Florestal Estadual. 6. Nova Prata, 1988.
- 32 ELLIOTT, K.G. Wood density in conifers. Commonwealth Forestry Bureau, Oxford. Tec. Commun. Nº 8. 1970.
- 33 ERICKSON, H. D. & HARRISON, A.T. Douglas-Fir wood quality Studies. Part I - Effects of age and stimulate growth on wood density and Anatomy. Wood Sci.Technol., 8:225-265, 1974.
- 34 FIELDING, J.M. Pruning *Pinus radiata* in Australia with particular reference to the wood produced. IUFRO Section 41. Melbourn, 1965.

- 35 _____. The influence of silvicultural practices on wood properties. International review of Forestry Research, 2:95,126, 1967.
- 36 GEIGER, K. Berücksichtigung der Schubverformung bei der Ermittlung des Elastizitätsmoduls von Holz in statischen Biegeversuch. Holztechnologie, 21(2):102-106.
- 37 GERHARDS, C.C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of immediate effects. Wood and Fiber, 14(1):4-36, 1982.
- 38 GOGGANS, J.F. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. Tec. Rpt. No 11. Sch. Forestry, N.C. State Univ. Raleigh, N.C. 1961.
- 39 GOMES, A.V. & RICHTER, H.G. Microtécnica e fotomicrografia. Apostila - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba.
- 40 GURFINKEL, G. Wood engineering. New Orleans, Southern Forest Products Association, 1973. 573p.
- 41 HALLOCK, H. Observations on forms of juvenile core in loblolly pine. USDA Forest Serv. Res. Note FPL-0188. Forest Prod. Lab., Madison Wis., 1968.
- 42 HARRIS, J.M. Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub-tropical conditions. IUFRO workshop, Brisbane, 1977.

- 43 HUGHES, J.F. The wood structure of *Pinus caribea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. Selection and breeding to improve some tropical conifers. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 13-22.
- 44 JACKSON, L.W.R. & MORSE, W.E. Tracheid length variation in single rings of loblolly, slash shortleaf pine. J. For. 63:110-112, 1965.
- 45 KELLINSON, R.C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17. Japan, 1981. Division 5. Forest Products.
- 46 KNIGGE, W. & SCHULZ, H. Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin, 1966. 584p.
- 47 KOCH, P. Utilization of the southern pines. Dep. of Agric. Forest Service. Agric. Handbook no 420, 2v., 1972. 1663p.
- 48 KOLLMANN, F.F.P. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band I. Springer Verlag, 1951. 1050p.
- 49 _____. & COTÉ JR., W.A. Principles of wood science and technology. Berlin, Springer, 1968. 2v.
- 50 KREMPL, H. Gewicht des Fichtenholzes in Österreich. Allgemeine Forstzeitung, 88(4):76-81, 1977.
- 51 LANGENDORF, G.J. & EICHER, H. Holzvergütung VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1979. 176p.

- 52 LAVERS, G.M. The strenght properties of timber. In: The Princes Risborough Laboratory of the Building Research Estabilishment. The strenght properties of timber. Lancaster. MTP Construction, 1974. p.1-86.
- 53 LIMA, J.T. Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. Smith. Viçosa, 1983. 58p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Curso de Engenharia Florestal.
- 54 LIMA, M.M. Caracterização da madeira de *Pinus oocarpa* II. Rendimento e qualidade da celulose. Relatório Técnico - CAFMA: Piracicaba, 1984.
- 55 MCKINNELL, F.H. & RUDMAN, P. Potassium fertilizer and wood density of *Pinus radiata*. APPITA 26, 1963. 283-286.
- 56 MECHANICAL PROPERTIES WOOD. In: Forest Product Laboratory Service, Wood Handbook. Wood as an engineering manual. Washington, U.S. Government, 1955, cap.4 (Agriculture handbook, 72).
- 57 MORESCHI, J.C. Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil. Curitiba, 1976. 162p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- 58 NICHOLLS, J.W.P. The effect of environmental factors on wood characteristics 2 - the effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. Silvae Genetica, 20(1):67-73, 1971.

- 59 NOACK, D. Beziehung zwischen den roshstoff-Eigenschaften und den Anforderung der Verwendung. Holz als Rohund. Werkstoff, 34 (1976) 121-126p.
- 60 PARKER, H. Simplified design of structural wood. Ed. New York, Jonh Wiley, 1979. 269p.
- 61 PEARSON, R.G. & GILMORE, R.C. Effect of fast growth rate on the mecanical properties of Loblolly Pine. For. Prod. J., 30(5):47-54, 1980.
- 62 OHTA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densitometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. Mokuzai Gakaishi 27, 157-162, 1981.
- 63 RUDMAN, P. & MCKINNELL, F.H. Effects of fertilizers on wood density of young radiata pine. Australian Forestry 34. 170.178, 1970.
- 64 SANIO, K. Veber die Grösse der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). Jahrb.Wiss.Bot., 8:401-420, 1872.
- 65 SCHULTZ, R.P. Utilization needs as a driving force in timber management research. In: Forest Products Research Confe - rence. Madison, 1986.
66. SIMIONI, A. Verwendundsortorientierte Technologische Prüfung und vergleichende sortierung des schnittholzes einer schnellwüchsigen Baumart dargestellt an Beispiel der "Plantagen - kiefer" *Pinus radiata* (D.Don). Freiburg, 1981. 148p. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Frostwssenschaftlichen Fakulatät der Albert-Ludwig - Universität.

- 67 SPURR, S.H. & HSING, W. Growth rate and specific gravity in conifers J.For., 52 (3): 191-2, 1954.
- 68 STAMM, A.J. Wood cellulose liquid relationship. North Carolina Agric. Exp. Sta Tech. Bull. nº 50, 1962.
- 69 STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and Procedures of statistics. New York. McGrae-Hill, 1960. 481p.
- 70 SUDO, S. Wood quality research in Japan. In: IUFRO WORLD CONGRESS, Kyoto, Japan. Proceedings. Kyoto, 1981.89-101p.
- 71 SUNLEY, J.G. Grade stresses for structural timber. In: The Princes Risborough Laboratory of the building research establishment. The strenght properties of timber. Lancaster, MTP Construction, 1974. p.121-140.
- 72 THUNELL, B. Sortierungs-und Sicherheitsfragen bei der verwendung von holz fur tragewerke und Geruste. Holsz als Roh-und Werkstoff. 16 (1958). 127-131p.
- 73 TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria Angustifolia* e *Pinus* sp produzida em reflorestamentos. In: Relatório final. Convênio FINEP, UFPR, nº 18/79, Curitiba, 1979. 157-161p.
- 74 TRENDELENBURG, R. & MAYER-WEGELIN, H. Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag, Munchen, 1956. 541p.
- 75 TURNBULL, J.M. The relationship between modulus of rupture and weight in south African grown pine timber. Journal of the south African Forestry Association. 7,67-77,1941-

- 76 VORREITER, L. Holztechnologiaches Handbuch. Band I. Verlag Georg Fromme & Co. Wien, 1949. 548p.
- 77 WANGAARD, F.F. The mechanical properties of wood. Chapman & Hall. London, 1950. 377p.
- 78 WARDROP, A.B. Cell wall organization and properties of the xylem. I. Cell wall organization and the variation of breaking load in tension of the xylem in conifer stems. Aust.J.Sci.Res. Series B 4:391-4141, 1951-
- 79 WILSON, T.R.C. Strenght-misture relaitons for wood. Washington, U.S.D.A., 1932. 88p (Technical Bulletin 282).
- 80 ZOBEL, B. Wood properties. Material didático.
- 81 _____, & WEBB, C. & HENSON, F. Core or Juvenile Wood of Loblolly and Slash Pine Trees. TAPPI, v.42. nº 5, p.345-356.